



UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Fakultät Agrarwissenschaften
Institut für Agrarpolitik und Landwirtschaftliche Marktlehre
Fachgebiet Agrarpolitik
Prof. Dr. W. Grosskopf

Technikfolgenabschätzung und Diffusionsforschung in der Landwirtschaft

Beschreibung, Analyse und Weiterentwicklung im Kontext
der Einführung Automatisierter Melkverfahren

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften

vorgelegt
von

Klaus A. Hein
Mochenwangen / Oberschwaben

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Schlagworte:

Technikfolgenabschätzung, Diffusionsforschung, Automatisierte Melkverfahren (AMV), Milchviehhaltung, Landwirtschaft

Key words:

Technological assessment, Diffusion research, automatic milking systems (AMS), dairy farming, agriculture

Tag der mündlichen Prüfung

01. Juli 2008

Jahr der Veröffentlichung

2009

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Gliederung	I-V
Verzeichnis der Abbildungen	VI-VII
Verzeichnis der Tabellen	VIII
Verzeichnis der Übersichten	IX
Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole	X-XII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehensweise	3
2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte	5
2.1 Begriffliche Bestimmung des technischen Fortschritts	5
2.2 Abgrenzung technischer Fortschritte im Hinblick auf veränderte Faktorproduktivitäten	8
2.3 Klassifikation des technischen Fortschritts	17
2.3.1 Zur Klassifikation des technischen Fortschritts	17
2.3.2 Ausgewählte Konzepte zur Verschiebung der Produktionsfunktion	18
2.3.2.1 Das Verschiebungskonzept	18
2.3.2.2 Der Ansatz von Hicks	21
2.3.2.3 Die Ansätze von Harrod und Solow	23
2.3.3 Weitere Klassifikationsansätze	26
2.3.3.1 Klassifizierungen nach dem Verlauf der Kostenfunktion	26
2.3.3.2 Der technische Fortschritt im linear-limitationalen Modell	35

Inhaltsverzeichnis

2.4 Systematisierung des technischen Fortschritts nach dessen Entstehung	40
2.4.1 Zur Systematisierung des technischen Fortschritts	40
2.4.2 Der autonome technische Fortschritt	42
2.4.2.1 Einordnung in die ökonomische Theorie	42
2.4.2.2 Modelle zum autonomen technischen Fortschritt	42
2.4.3 Der induzierte technische Fortschritt	51
2.4.3.1 Einordnung in die ökonomische Theorie	51
2.4.3.2 Faktorpreis-induzierter technischer Fortschritt	52
2.4.3.3 Investitionsinduzierter technischer Fortschritt	56
2.5 Modelle zur Erklärung von Innovationen in der ökonomischen Theorie	59
2.5.1 Stand der ökonomischen Innovationstheorie	59
2.5.2 Technischer Fortschritt in der neoklassischen Theorie	64
2.5.3 Bewertung der neoklassischen Modelle im Kontext einer evolutorischen Innovationstheorie	75
2.5.3.1 Evolutorische Ansätze in der Innovationsforschung	75
2.5.3.2 Eigenschaften evolutorischer Modelle in der Ökonomie	93
2.6 Ausbreitung und Übernahme von Neuerungen	96
2.6.1 Der Innovationsbegriff	96
2.6.2 Der Innovationsprozess	100
2.6.3 Adoption	106
2.6.4 Diffusion	109
2.6.4.1 Die Nachfrager-Perspektive	109
2.6.4.2 Die Anbieter-Perspektive	125

Inhaltsverzeichnis

2.6.5 Der Übernahme-Prozess	128
2.6.5.1 Bestimmungsgründe für die Übernahme von Innovationen	128
2.6.5.2 Spezifische Innovationseigenschaften	129
2.6.5.3 Unternehmensexterne Variablen	131
2.6.5.4 Unternehmensinterne Variablen	135
3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft	139
3.1 Das Konzept der Technikfolgenabschätzung	139
3.1.1 Entstehung und Ziel des Konzepts zur Technikfolgenabschätzung	139
3.1.2 Ausgestaltung des Konzepts der Technikfolgenabschätzung	142
3.1.2.1 Systematisierung unterschiedlicher Ansätze	142
3.1.2.2 Das Konzept von Paschen und Petermann	146
3.1.3 Konzeptionelle Integration der Diffusionsforschung in das Konzept einer erweiterten Technikfolgenabschätzung	148
3.1.4 Einbeziehung angrenzender Prognoseverfahren	154
3.1.4.1 Technological Forecasting	154
3.1.4.2 Social Forecasting	158
3.2 Methoden der Analyse und Bewertung	160
3.2.1 Allgemeine Darstellung der Methoden in Technikfolgenabschätzungen	160
3.2.2 Betrachtung ausgewählter ökonomisch orientierter Methoden in Technikfolgenabschätzungen	163
3.2.2.1 Ökonometrische Modelle	163
3.2.2.2 Optimierungsmodelle	167
3.2.2.3 Evolutorische Modellansätze	170
3.3 Diskussion des Konzeptes der Technikfolgenabschätzung	174

Inhaltsverzeichnis

3.4 Die Technikakzeptanzforschung	178
3.5 Technikfolgenabschätzungen in der Landwirtschaft	180
3.6 Technikwirkungsanalyse für automatisierte Melkverfahren	183
4 Adoption und Diffusion von AMV	190
4.1 Entwicklung und Ausbreitung technischer Fortschritte im Milchentzug	190
4.1.1 Zurückliegende technische Entwicklungen	190
4.1.2 Ausbreitung technischer Fortschritte im Milchentzug	193
4.2 Automatische Melkverfahren im Kontext des Precision Livestock Farming	198
4.2.1 Die integrierte rechnergestützte Landwirtschaft (Precision farming)	198
4.2.2 Precision Livestock farming	201
4.3 Kennzeichen automatisierter Melkverfahren	205
4.3.1 Entwicklung von automatisierten Melkverfahren	205
4.3.2 Merkmale automatisierter Melkverfahren	207
4.3.2.1 Technik und Funktion von AMV	207
4.3.2.2 Bauformen marktgängiger AMV	214
4.4 Einflussfaktoren auf die AMV-Adoption	222
4.4.1 AMV-Adoption unter komplexen Rahmenbedingungen	222
4.4.2 Betriebswirtschaft und Management	223
4.5 Einsatz automatischer Melkverfahren	226
4.5.1 Der Markt für AMV	226
4.5.1.1 Bisherige Marktentwicklung von AMV	226
4.5.1.2 Klassifikation des Marktes für AMV	229
4.6 Einstellungen im Entscheidungsprozess zum Kauf eines automatisierten Melkverfahrens	237

Inhaltsverzeichnis

4.6.1 Zur Untersuchung von Einstellungen im Entscheidungsprozess für AMV	237
4.6.2 Untersuchungen zu Einstellungen im Entscheidungsprozess für AMV	237
4.6.2.1 BORNSCHEUER und KÖNIG	237
4.6.2.2 GERBER	239
4.6.2.3 KOWALEWSKY und FÜBBEKER	240
4.6.2.4 MESKENS und MATHIJS	241
4.6.3 Erhebung durch HEIN	244
4.6.3.1 Durchführung der Erhebung	244
4.6.3.2 Ergebnisse	247
4.6.4 Motivationsgründe zum Kauf eines AMV	259
5 Diskussion der Ergebnisse	261
5.1 Einfluss von Substitutionsbeziehungen auf die Diffusion von AMV	261
5.2 Integration der Angebotsseite in die Analyse des Diffusionsprozesses von AMV	266
5.3 Charakterisierung von AMV aus innovationstheoretischer Sicht	268
6 Zusammenfassung	277
Summary	280
Anhang	283
Literaturverzeichnis	287

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abbildung 1: Produktivitätsveränderungen bei der Verschiebung der neoklassischen Produktionsfunktion	13
Abbildung 2: Wachstumseffekte im Isoquantenmodell	14
Abbildung 3: Klassifikation nach HICKS	23
Abbildung 4: Klassifikation nach HARROD und SOLOW	24
Abbildung 5: Linear-limitationale Produktionsfunktion	38
Abbildung 6: Systematisierung des technischen Fortschritts	41
Abbildung 7: Schema des Wettbewerbsprozesses	80
Abbildung 8: Unternehmertypen	91
Abbildung 9: Allgemeines Phasen-Schema des Innovationsprozesses	102
Abbildung 10: Normale Häufigkeitsverteilung von Innovationen	107
Abbildung 11: Kumulierte Übernahmerate einer Faktorinnovation (Wuchsstoff-Herbizid 2,4-D in Iowa)	111
Abbildung 12: Variablen zur Übernahme einer Innovation	129
Abbildung 13: Ablaufschema für die Durchführung von Technikfolgebewertungen	153
Abbildung 14: Bewertungsmatrix einer Technikwirkungsanalyse für automatisierte Melkverfahren (AMV)	184
Abbildung 15: Entwicklung (Diffusion) des Melkmaschineneinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland von 1949-1975	197
Abbildung 16: Rechnergestützte Verfahren in der Landwirtschaft	201
Abbildung 17: Einfluss- und Bestimmungsfaktoren des Precision Livestock Farming	202
Abbildung 18: Grundfunktionen eines AMV (System Lely „Astronaut 1“)	208

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 19:	Bauformen bisher in der Praxis eingeführter automatischer Melkverfahren nach Herstellern	215
Abbildung 20:	Übernahme von automatisierten Melkverfahren in verschiedenen Ländern während der ersten Adoptionsphase (2000 und 2002)	229
Abbildung 21:	Ersetzen der bisherigen Melktechnik durch Um- oder Neubau in Jahren (n = 2016)	248
Abbildung 22:	Potentielle Investition bei Wunsch nach konventioneller Melktechnik (n = 1.342)	249
Abbildung 23:	Gründe gegen die Anschaffung eines AMV (Betriebe mit Wahl für konventionelle Melktechnik sowie 55 Kühe und mehr)	250
Abbildung 24:	Statements zum Thema Melktechnik und Milchviehhaltung (Betriebe mit Wahl für konventionelle Melktechnik sowie 55 Kühe und mehr)	253
Abbildung 25:	Statements zum Thema Melktechnik und Milchviehhaltung (AMV-Anwender sowie Kaufwillige)	256
Abbildung 26:	Gründe zum Kauf eines AMV (AMV-Anwender sowie Kaufwillige)	258

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Zeittafel bedeutender technischer Entwicklungen in der Milchviehhaltung	191
Tabelle 2:	Beweggründe zum Kauf von automatisierten Melkverfahren bei KOWALEWSKY und FÜBBEKE	241
Tabelle 3:	Beweggründe zum Kauf von automatisierten Melkverfahren bei MESKENS und MATHIJS	242
Tabelle 4:	Betriebsgrößenstruktur der Betriebe mit Milchkuhhaltung in Deutschland im Vergleich zu den in der Auswertung erfassten landwirtschaftlichen Betriebe (30 Milchkühe und mehr)	247

Verzeichnis der Übersichten

Übersicht 1:	Klassifikation nach den Veränderungen der Grenzkosten- und Grenzertragsfunktion	30
Übersicht 2:	Klassifikation des technischen Fortschritts nach möglichen Faktormengenänderungen	33
Übersicht 3:	Phasenmodell des Adoptionsprozesses	114
Übersicht 4:	Entscheidungsprozeß-Typen nach CAMPBELL	119
Übersicht 5:	Allgemeine verhaltens- und betriebsdifferenzierende Merkmale in der Landwirtschaft	138
Übersicht 6:	Indikatoren des Lebenszyklus einer Technologie	155
Übersicht 7:	Indikatoren zu Produktwertschöpfung und Marktperspektiven	156
Übersicht 8:	Übersicht über ausgewählte Methoden der Technologiefolgenabschätzung	162
Übersicht 9:	Einsatz von Melkmaschinen in ausgewählten Ländern Anfang der 1940er Jahre	195

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

AMV	Automatisches Melkverfahren
AMS	Automatisches Melksystem, <i>Automatic Milking System (engl.)</i>
Aufl.	Auflage
Bd.	Band
BMELF	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
bzgl.	bezüglich
ff	fortfolgende [Seiten]
f	folgende [Seite]
H.	Heft
Jg.	Jahrgang
Nr.	Nummer
S.	Seite
sog.	sogenannt
TA	Technikfolgenabschätzung
u. a.	und andere
Vgl.	Vergleiche
Vol.	Volume

$\bar{A}, \bar{a}$ Arbeitskoeffizient

$\bar{K}, \bar{k}$ Kapitalkoeffizient

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

α, β	Winkel, partielle Produktionselastizität
Δ	Differenz
ρ	Substitutionsparameter
δ	Distributionsparameter
γ	Effizienz- oder Niveauparameter
$\sigma_{A,K}$	Substitutionselastizität des Faktoreinsatzes (A, K)
β_{ij}	Parameter aller Faktorkombinationen x_i mit x_j .

A	Arbeit
a	Einsatzmenge des Faktors Arbeit
a_{ij}	Produktionskoeffizient
a'_1	a_1 in t_{+1}
d	Differentialquotient
g	Wachstumsrate
G'	Grenzgewinn
G_s	Gesamtgewinn
G_x	gewinnmaximale Faktoreinsatzmenge
G_y	gewinnmaximale Produktionsmenge
K	Kapital, Stückkosten
k	Einsatzmenge des Faktors Kapital
K'	Grenzkosten
K_y	(Gesamt)Kosten
l	Lohnsatz

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

N	Nachfrage
n	Nachfragemenge, Stichprobenumfang
P	Preis
p_x	Preis bei Menge x
q	Produktionsmenge, Zinssatz
$\overline{q_x}$	konstantes Produktionsergebnis
R'	Grenzerlös
r	Homogenitätsgrad
T	Zeit
t	Zeiteinheit
U	Nutzen
w_z	zeitabhängige (autonome) Fortschrittsrate
X	Gut mit dem Namen X
x_i	Menge der Faktoren 1 bis n
Y	Produktion, Output, (Brutto)Sozialprodukt
y	Menge eines Gutes

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Milchviehhaltung zählt zu den arbeitsintensivsten Betriebszweigen in der Landwirtschaft. Insbesondere die im Milchentzug begründete, feste und zeitlich unflexiblen Bindung der eingesetzten Arbeitskräfte, ist kennzeichnend für diesen Betriebszweig. Darüber hinaus stellt die Melkarbeit, welche einen hohen Anteil am Gesamtarbeitsbedarf der Milcherzeugung einnimmt¹, eine für die Arbeitskraft physisch stark belastende Tätigkeit dar.² Diesem Umstand entsprechend wurden in den letzten zwei Jahrzehnten verstärkt Anstrengungen unternommen, den Melkvorgang zu automatisieren.³

Mit den vollautomatischen Melkverfahren (AMV) steht nun erstmals eine Technik zur Verfügung, mit welcher der Melkvorgang zeitlich weitgehend unabhängig vom Landwirt durchgeführt werden kann. Vollautomatische Melkverfahren (oder Melkroboter)⁴ sind heutzutage die innovativste aber auch komplexeste technische Anwendung, die in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung zum Einsatz kommt. Ausgehend von den Niederlanden werden seit Mitte der neunziger Jahre die ersten Anlagen auch in deutschen Praxisbetrieben eingesetzt. Die große Bedeutung der Einführung der AMV-Technik als „Schlüsseltechnologie“ für die milcherzeugenden Betriebe ist unbestritten, obwohl die ökonomischen Potentiale und Wirkungen dieser Neuerung auf betrieblicher als auch sektoraler Ebene bisher nur unzureichend dargestellt werden können.⁵

Die parallel mit der Implementierung von AMV als neuem technischen Verfahren in der Milchviehhaltung einhergehenden, indirekt hervorgerufenen und induzierten

¹ Der Arbeitszeitbedarf für den Melkvorgang wird in Abhängigkeit von der eingesetzten Melktechnik, der Betriebsgröße sowie der Betriebsorganisation mit ca. 30 bis über 50% des Gesamtarbeitsbedarfes für die Milchviehhaltung angegeben. Vgl.: ORDOLFF, D. [Melkstände], S. 31 sowie SCHICK, M.; HARTMANN, W. [Arbeitszeitbedarfswerte], S. 226-227.

² Vgl.: ROSSING, W.; HOGWERF, P. H. [automatic milking systems], S. 1.

³ Vgl.: ORDOLFF, D. [Melkzeuge], S. 222-224.

⁴ Im nichtwissenschaftlichen Sprachgebrauch hat sich für diese Technik der Begriff „Melkroboter“ durchgesetzt. Synonym findet auch das Akronym „AMS“ (Automatische Melksysteme) Verwendung. Gleiches gilt für die Begriffe „vollautomatische Melkverfahren bzw. -systeme“ und „automatische Melkverfahren bzw. -systeme“.

⁵ Vgl.: ISERMEYER, F. [Milchviehhaltung], S. 51.

1 Einleitung

Effekte können dabei Veränderungen der technischen, sozialen, ökonomischen, ökologischen und politischen Wirklichkeit bewirken.⁶

Die in AMV zum Ausdruck kommende, zunehmende Komplexität technischer Neuerungen in der Landwirtschaft sowie die wachsende Geschwindigkeit ihrer Ausbreitungen haben dabei zu einem gesteigerten Interesse an den Folgewirkungen einer zunehmenden Technisierung geführt.

Für die AMV als Einzeltechnologie liegt bisher kein Konzept einer umfassenden Technikwirkungsanalyse vor.⁷ Zudem sind AMV seither nicht im Hinblick auf ihre innovationstheoretische Einordnung beschrieben worden, was jedoch als notwendige Grundlage einer Analyse ihrer Technikwirkungen einzufordern ist. Gleichzeitig werden unter dem Eindruck der bisherigen Adoption von AMV, in dem besonders in der agrarökonomischen Forschungstradition verankerten modelltheoretischen Vorgehen, Diffusionsprozesse mittels nachfragebasierten Epidemiemodellen zu erklären, modellbedingte Einschränkungen in der Abbildung der Realität offenkundig.

1.2 Zielsetzung

Ausgehend von diesem Kenntnisstand, stellt sich für die agrarökonomische Forschung somit die Aufgabe, die Erklärungsmodelle zu Entstehung, Wirkung und Verbreitung technischer Fortschritte als Grundlage einer Technikwirkungsanalyse für AMV einer umfassenden Bewertung zu unterziehen. Insgesamt sind dabei die Parameter herauszuarbeiten, die den Adoptions- und Diffusionsprozess von AMV determinieren.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind somit nicht die einzelnen technischen Anwendungs- bzw. Gestaltungsmöglichkeiten der AMV-Technik, obgleich diese in einem für das Verständnis der Arbeit notwendigen Umfang dargelegt werden. Ziel ist es vielmehr, den Diffusionsprozess von Innovationen in der Landwirtschaft am Beispiel der Markteinführung von vollautomatisierten Melksystemen zu untersuchen. Hierzu sind die Grundlagen von Innovationstheorie und Technikwirkungsanalyse mit dem Ziel zu erarbeiten, ein Konzept zur Technikwirkungsanalyse für AMV vorzustellen.

⁶ Vgl.: DIERKES, M; HÄHNER, K. [Konzeptentwicklung], S. 1ff.

⁷ Vgl.: ISERMEYER, F. [Technikfolgenabschätzung], S. 145-151.

1 Einleitung

Zudem sind das Adoptionsverhalten von Landwirten bezüglich technischer Neuerungen im generellen, sowie die Einstellungen zu Innovationen in der Milchviehhaltung im speziellen darzulegen. Die Ermittlung der Motivationen von Milchviehhaltern zur Übernahme von AMV wird dabei auf empirische Untersuchungen gestützt. Diese Vorgehensweise wurde aus der Tatsache heraus gewählt, dass bei dem bisherigen Stand der agrarökonomischen Forschung auf ausschließlich normativem Wege keine, die Realität wiedergebenden Aussagen über das tatsächliche Adoptionsverhalten der Milcherzeuger getroffen werden können.⁸

Die vorliegende Arbeit soll somit zum Erkenntnisfortschritt über die Eigenschaften von Adoptions- und Diffusionsprozessen in der Landwirtschaft beitragen.

1.3 Vorgehensweise

Im Anschluss an die einleitenden Darstellungen des ersten Kapitels, wird in Kapitel zwei zunächst auf die theoretischen sowie methodischen Grundlagen abgestellt, die für das Verständnis der verschiedenen Ansätze zur Untersuchung von Folgen technischen Wandels notwendig sind. Die Schwerpunktsetzung in diesem Kapitel erfolgt dabei, abgeleitet aus der eingangs dargelegten Problemstellung, auf die Aspekte betreffend die Entstehung und Wirkung technischer Fortschritte. Die bisherigen, nachfrageorientierten Diffusionsmodelle werden dabei im Hinblick auf eine mögliche Modellerweiterung um angebotsspezifische Gesichtspunkte kritisch besprochen. Die Bewertung der Modelle zur Übernahme von Innovationen schließt das Kapitel ab.

Ausgehend von den grundlegenden innovationstheoretischen Erkenntnissen zu Entstehung und Ausbreitung technischer Fortschritte, wird in Kapitel drei das Konzept der Technikfolgenabschätzung (TA) in seinen Grundzügen vorgestellt. Nach der Darlegung von Zielen und Methoden sowie der Diskussion verschiedener Modellklassen, wird das TA-Konzept einer eingehenden Analyse unterzogen. Hieran schließen sich Ausführungen zur bisherigen Technikfolgenabschätzung im Bereich der Landwirtschaft an. Das Kapitel findet mit der Entwicklung einer Gesamtkonzeption einer Technikwirkungsanalyse für automatisierte Melkverfahren seinen Ab-

⁸ Vgl.: ISERMEYER, F. [Technikfolgenabschätzung], S. 148.

1 Einleitung

schluss.

Der Adoptions- und Diffusionsprozess von AMV ist Gegenstand der Analyse in Kapitel vier. Hierzu wird zunächst der bisherige Entwicklungspfad der Melktechnik bis hin zur Einführung von AMV erarbeitet und analysiert. In einem weiteren Schritt werden die adoptionsrelevanten Objektspezifika von AMV in dem hierfür notwendigen Umfang dargelegt. Die Analyse des Marktes für AMV bildet in diesem Abschnitt der Untersuchung einen Schwerpunkt. Hierbei wird insbesondere auf die Angebotsseite für diese Technik abgestellt. Einen zweiten Schwerpunkt stellt die Analyse der Motivationsgründe im Entscheidungsprozess zum Kauf von Melktechnik auf der Basis empirisch gewonnener Daten dar.

In Kapitel fünf werden die gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich der Substitutionsbeziehungen im Diffusionsprozess von AMV und der Integration der Angebotsseite in der Modellbetrachtung zusammengeführt und kritisch gewürdigt. Die abschließende Interpretation von AMV aus innovationstheoretischer Sicht ordnet diese neue Melktechnik im Hinblick auf die dargelegten Eigenschaften in das Konzept des technischen Fortschritts modelltheoretisch ein.

Die Arbeit schließt im sechsten Kapitel mit der Zusammenfassung ab.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

2.1 Begriffliche Bestimmung des technischen Fortschritts

Der Begriff des „technischen Fortschritts“ ist durch einen wenig eindeutigen Sprachgebrauch gekennzeichnet. Dies deutet zum einen auf eine vielschichtige Wahrnehmung dieses Phänomens hin. Zum anderen wird der Begriff zur Erklärung vielfältiger Veränderungen der betrieblichen und volkswirtschaftlichen Realität bemüht, gilt somit generell als Auslöser von weitreichenden gesellschaftlichen Veränderungsprozessen.⁹ Bei der Analyse von Ursache, Verlauf und Wirkung technischer Fortschritte liegt oftmals der Fokus der Betrachtung auf besonders auffälligen Einzelercheinungen, die als Ergebnis ihrer Analyse i. d. R. verallgemeinert werden. Auch werden häufig nur einzelne technische, ökonomische oder soziale Aspekte des technischen Fortschritts isoliert voneinander betrachtet.¹⁰ Diese Vorgehensweise greift jedoch zu kurz, da die Bereitstellung von Gütern das Ergebnis sowohl technischer als auch ökonomischer Funktionen darstellt. Dabei umfassen die technischen Funktionen die Umformung von Stoffen und Energie in Güter sowie die Organisation dieser Prozesse. Die tatsächliche Realisierung möglicher technischer Umformungsprozesse wird als Ergebnis der ökonomischen Funktionen beschrieben und folgt entsprechend der jeweiligen Nutzenfunktionen.¹¹

Der technische Fortschritt kann spätestens seit den Arbeiten von Schumpeter¹² als die treibende Kraft der wirtschaftlichen Entwicklung angesehen werden. Da er sich in seiner Erscheinungsform, wie o. a. sehr vielfältig darstellt, bedarf es, als Grund-

⁹ Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 13.

Der Begriff technischer Fortschritt impliziert grundsätzlich eine Wertung entsprechend einer bestimmten, definierten Zielsetzung. Dementsprechend wird von einigen Autoren der Begriff „technischer Fortschritt“ abgelehnt und durch den Begriff des „technischen Wandels“ ersetzt. So empfiehlt DOLUSCHITZ, den Begriff des „technischen Fortschritts“ durch den wertneutralen Begriff „technischer Wandel“ zu ersetzen. Vgl.: DOLUSCHITZ, R. [Technischer Wandel], S. 10.

Auch SCHUMPETER verzichtet auf die Verwendung des Begriffs „Fortschritt“ mit dem Hinweis auf die mit diesem Ausdruck verbundenen Assoziationen. Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Konjunkturzyklen], S. 94.

¹⁰ Vgl.: HOCKMANN, H. [Technischer Fortschritt], S. 214f.

¹¹ Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 13f.

¹² Siehe hierzu vor allem SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung] sowie SCHUMPETER, J. A. [Konjunkturzyklen], S. 9.

Hier sei auch auf die Arbeiten von KONDRATIEV zur Entstehung von Konjunkturzyklen verwiesen. Vgl.: KONDRATIEV, N. [Cycle] sowie ROSENBERG, N.; FRISCHTAK, C. R. [Long Waves], S. 223-245.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

lage einer wissenschaftlichen Arbeit, einer eindeutigen begrifflichen Bestimmung dieses Phänomens.

Hierzu wird der Definition von OTT, durch die Begriffsbestimmung nach WALTER um einen dritten Punkt entscheidend ergänzt,¹³ gefolgt, nach welcher der technische Fortschritt folgende ökonomisch relevanten Tatbestände umfasst:¹⁴

1. die Herstellung neuer, bisher unbekannter sowie qualitativ verbesserter Produkte;
2. die Nutzung neuer Produktionsverfahren, die eine effizientere Produktion ermöglichen, somit also die Möglichkeit eröffnen, eine gegebene Gütermenge mit geringeren Kosten bzw. eine größere Gütermenge mit gleichen Kosten herzustellen¹⁵ sowie
3. die Entwicklung und Nutzbarmachung neuer Mittel und Wege zur besseren Befriedigung menschlicher Bedürfnisse.

Zur Betrachtung des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft kann hier der Differenzierung von BRINKMANN gefolgt werden, der sowohl in einer steigenden Nachfrage nach landwirtschaftlichen Erzeugnissen als auch im technischen Fortschritt die Triebfedern zu einer Veränderung der Produktionsintensität im landwirtschaftlichen Betrieb sieht. Demnach wird der technische Fortschritt in drei Arten unterschieden:¹⁶

- *Mechanisch-technischer Fortschritt*

Der mechanisch-technische Fortschritt drückt sich zum einen in der Einführung neuer und der Verbesserung bereits bekannter Maschinen und Geräte - so etwa Mähdrescher, technischer Milchentzug, aber auch generelle Motori-

¹³ Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 569.

¹⁴ Vgl.: OTT, A. [Technischer Fortschritt], S. 302.

¹⁵ PROSI weist darauf hin, dass die Bezeichnung „Produktionsverfahren“ hier nicht identisch ist mit dem in der Produktionstheorie verwendeten Begriff des Produktionsprozesses. Vielmehr ist der Begriff weiter gefasst, da hier auf Fertigungsmethoden und Arbeitsverfahren, somit auf technische Grundverfahren abgestellt wird. Dem technischen Grundverfahren wird demnach der Prozess als Ausprägung des technischen Prinzips der Produktion in einer bestimmten Faktorkombination entgegengestellt. Vgl.: PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S. 26f.

¹⁶ BRINKMANN unterscheidet ursprünglich vier relevante Erscheinungsformen des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft. Neben den genannten wird auch der technische Fortschritt in der der Landwirtschaft nachgelagerten Verarbeitungsindustrie genannt. Vgl.: BRINKMANN, TH. [Land- und forstwirtschaftliche Produktion], S. 50.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

sierung - aus.¹⁷ Zum anderen wird unter diesem Begriff die Verbesserung der Gebäudegestaltung, -anordnung und -einrichtung verstanden.¹⁸

- *Biologisch-technischer Fortschritt*

In der Tierproduktion tritt der biologisch-technische Fortschritt in den Bereichen der Tierzucht, -ernährung und -hygiene, in der pflanzlichen Erzeugung in den Bereichen der Pflanzenzüchtung und -ernährung sowie im Pflanzenschutz in Erscheinung. Als dessen Ausdruck können die Entwicklungen der Naturalerträge sowie der tierischen Leistungen (Produktivität) angesehen werden.¹⁹ Aber auch die Erstellung eines neuen Produktes ist hier zu nennen.²⁰

- *Organisatorisch-technischer Fortschritt*

Ziel organisatorisch-technischer Fortschritte ist die generelle Verbesserung von wirtschaftlichen Abläufen, so etwa eine intensivere inter- und intrasektorale Arbeitsteilung.²¹ Auf den landwirtschaftlichen Betrieb bezogen, bewirken organisatorisch-technische Fortschritte eine Optimierung der Verfahrensabläufe.²² Dies geschieht vor allem unter der Nutzung von informations- und kommunikationstechnischen Hilfsmitteln, von Konzepten für die Aufbau- und Ablauforganisation von Führungsprozessen sowie unter der Nutzung neuartiger Führungsinstrumente.²³

Entsprechend von, im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit noch näher zu betrachtenden Gleichgewichtsannahmen, werden technische Fortschritte gemäß der Güterpreisrelationen, was Überlegungen zum erwarteten Grenznutzen in Abhän-

¹⁷ Vgl.: SCHÖN, H. [Entwicklungstendenzen], S. 23.

¹⁸ Vgl.: PLATE, R.; BÖCKENHOFF, E. [Agrarmarktpolitik], S. 90.

¹⁹ So erhöhte sich der Ertrag von Winterweizen im Vergleich des Durchschnitts der Jahre 1957-1961 und 1997-2000 auf 237%. Die Milchleistung pro Kuh erhöhte sich im Vergleich der Jahre 1959/1960 und 1999/2000 auf 182%. Vgl.: BMELF/ BMVEL [Statistisches Jahrbuch], verschiedene Jahrgänge.

²⁰ Vgl.: KLEY, G. [Pflanzenzüchtung und Pflanzenbau], S. 42-44.

²¹ Eine Übersicht über Erscheinungsformen des organisatorisch-technischen Fortschritts in der Landwirtschaft findet sich bei SEUSTER. Vgl.: SEUSTER, H. [Beispiele des organisatorisch-technischen Fortschritts], S. 513-542.

²² Vgl.: DOLUSCHITZ, R. [Technischer Wandel], S. 9.

²³ Der beschriebene technische Fortschritt geht einher mit einer stärkeren Betonung system- und entscheidungsorientierter Ansätze zu Lasten faktortheoretischer Konzeptionen. Vgl.: KUHLMANN, F. [Entwicklungstendenzen in der Betriebsführung], S. 41.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

gigkeit der Grenzkosten impliziert, wirtschaftlich wirksam.²⁴ Das Wirksamwerden des technischen Fortschritts in einer - tatsächlich bzw. potentiell relevanten - Innovation ist als Teil des Innovationsprozesses nicht hier, sondern in einem nachstehenden Kapitel der vorliegenden Arbeit Gegenstand der Betrachtungen. An dieser Stelle ist dem ungeachtet ausdrücklich auf die definitorischen Unterschiede zwischen den beiden Begriffen „technischer Fortschritt“ und „Innovation“ zu verweisen.²⁵

2.2 Abgrenzung technischer Fortschritte im Hinblick auf veränderte Faktorproduktivitäten

Gleich, ob es das Ziel einer empirischen Untersuchung ist, Hypothesen über die Bestimmungsfaktoren des technischen Fortschritts zu testen, oder ob eine Beschreibung von Prozessen auf der Grundlage „bewährter Theorien“ angestrebt wird, sind Indikatoren des technischen Fortschritts festzulegen, die als operationelle Definitionen des technischen Fortschritts aufzufassen und in Abhängigkeit von den aufgeworfenen Fragestellungen zu benennen sind. So lässt sich für die vorliegende Arbeit feststellen, dass sich die hier zu behandelnden und weiter unten zu konkretisierenden Fragestellungen mit dem technischen Fortschritt im Sinne der Effizienzsteigerung eines (landwirtschaftlichen) Herstellungsprozesses mit einem gegebenen Gütersortiment befassen.

Zur Messung des Prozessfortschritts können zahlreiche Indikatoren herangezogen werden, die sich in erster Linie danach voneinander unterscheiden, ob sie die Produktivitätserhöhung in Bezug auf einen expliziten Produktionsfaktoren oder auf mehrere Produktionsfaktoren quantifizieren.²⁶ Unter dem Begriff der Produktivität kommt die technische Effizienz des Faktoreinsatzes zum Ausdruck, in dem die Produktmenge mit dem Umfang der eingesetzten Faktoren in Beziehung gesetzt

²⁴ Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 15.

²⁵ Gleichwohl findet der Begriff der „Innovation“ bis zu einer weiter unten vorgenommenen, exakten Begriffsbestimmung in seiner allgemeinsten Form, als eine mit technischem, sozialem und wirtschaftlichem Wandel einhergehenden (komplexen) Neuerung, Verwendung. Vgl.: HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 3-7 sowie Kapitel 2.5.1 und Kapitel 2.6.1.

²⁶ Vgl.: BLATTNER, N. [Messung], S. 78ff.

Zur Geschichte der Produktivitätsmessung vgl.: BOMBACH, G. [Produktivitätsmessung], S. 19–23. WILLER führt an, dass es „[...] nahezu ein unbegrenztes Feld an Möglichkeiten [...]“ gibt, Produktionsquotienten zu bilden. Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 130.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

wird.²⁷ Die Produktivität stellt dabei einen Begriff der „güterwirtschaftlichen“ Sphäre dar und ist nicht mit den Begriffen der Rentabilität und Wirtschaftlichkeit zu verwechseln, die in den „geldwirtschaftlichen“ Bereich hineingreifen.²⁸

Zu unterscheiden ist dabei die in Gleichung (2.1) dargestellte partielle Produktivität (Einzelfaktorproduktivität F_P), die Ausdruck der Relation des Produktionsergebnisses (Y) auf den Einsatz eines einzelnen Faktors (Faktoreinsatzmenge F_i) ist, von der totalen Faktor- oder auch Globalproduktivität (F_G) in Gleichung (2.2), bei welcher das Produktionsergebnis auf den gesamten Faktoreinsatz bezogen wird.²⁹ Partielle Produktivitäten werden hauptsächlich für die Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital ermittelt.³⁰ Der gesamte physische oder monetäre Ertrag wird dem physischen oder wertmäßigen Einsatz eines Faktors zugerechnet. Zu messen ist die Produktivität dabei durch die Bezugnahme von Produktionswert zum Kapitaleinsatz (Wert- oder Kapitalproduktivität, F_K) oder zum Arbeitseinsatz (Arbeitsproduktivität, F_A).³¹

Die Globalproduktivität kann als eine Messzahl der Effizienz der Produktionsstruktur einer Volkswirtschaft (aber auch von Wirtschaftszweigen und einzelnen Betrieben) herangezogen werden.³² Dabei müssen die einzelnen Einsatzmengen der heterogenen Faktoren aus Gleichung (2.2), aufgrund ihrer nicht-addierbaren Größen mit ihren Faktorpreisen (p_i) bewertet und zum monetären Bruttoinlandsprodukt (mit P = Preisindex; Y = reales Bruttoinlandsprodukt), wie in Gleichung (2.3) dargestellt, in Beziehung gesetzt werden.³³

$$(2.1) \quad F_P = \frac{Y}{F_i}$$

²⁷ Vgl.: MANKIW, N. G. [Volkswirtschaftslehre], S. 560-566.

²⁸ Vgl.: HANAU, A.; RUSTEMEYER, F. C. [Produktivitätsbegriff], S. 3.

²⁹ Vgl.: HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1], S. 113.

Zum Begriff der Produktivität im Kontext wirtschaftswissenschaftlicher Forschung vgl. weiterführend: BARELL, R.; MASON, G.; O'MAHONY, M. [Introduction], S. 8-14.

³⁰ Im Bereich der landwirtschaftlichen Urproduktion wird auch häufig der Ertrag bzw. die Leistung auf eine Einseitzeneinheit bezogen (z. B. dt/ha oder Milchleistung in kg pro Einzeltier und Zeiteinheit). Der gesamte Faktoreinsatz in der Landwirtschaft wird i. d. R. in die drei klassischen Produktionsfaktoren (Aggregate) Boden, Arbeit und Kapital gegliedert. Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 138.

³¹ Vgl.: OECD [Produktivitätsmessung], S. 16-19.

³² Vgl.: MARK, J. A. [Productivity], S. 54ff.

³³ Sollen internationale Effizienzvergleiche durchgeführt werden, ist die Aussagefähigkeit aufgrund eines unterschiedlichen Preisindex und unterschiedlicher Faktorpreise stark eingeschränkt. Vgl.: OECD [Produktivitätsmessung], S. 34-54.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

$$(2.2) \quad F_G = \frac{Y}{F(F_1, \dots, F_i)} \quad \Rightarrow \quad (2.3) \quad F_G = \frac{P * Y}{p_1 F_1 + \dots + p_n F_n}$$

Horizontale Produktivitätsvergleiche messen die zu einem Zeitpunkt zwischen verschiedenen Produktionseinheiten bestehenden Unterschiede in der technischen Effizienz des Faktoreinsatzes.³⁴ Intertemporale Produktivitätsvergleiche geben Aufschluss über Effizienzunterschiede zu verschiedenen Zeitpunkten, so über das Vorliegen des hier betrachteten Phänomens des technischen Fortschritts.³⁵

Die Bestimmung der partiellen Produktivitäten weist jedoch den grundlegenden Mangel auf, dass die Veränderungen der betreffenden Quotienten ganz oder teilweise durch Mengenänderungen der nicht betrachteten Faktoren hervorgerufen werden.³⁶ Dies kann jedoch nur in dem Falle vernachlässigt werden, wenn die übrigen Faktoren in ihren Aufwandsmengen unverändert bleiben oder ihr Effekt aufgrund eines geringen Input-Anteils vernachlässigt werden kann.³⁷

Eine bessere Methode zur Messung (Quantifizierung) der Effizienz des Faktoreinsatzes stellt die Bestimmung der Globalproduktivitäten dar.³⁸ So kann zwischen der globalen Brutto-Produktivität (Bruttoproduktionsmenge/ Bruttoaufwandsmenge) und der globalen Netto-Produktivität (Nettoproduktionsmenge/ Nettoaufwandsmenge)³⁹ unterschieden werden.⁴⁰ Im Gegensatz zur globalen Brutto-Produktivität fokussiert dabei die globale Netto-Produktivität ausschließlich auf die ursprünglich sektoralen Produktionsfaktoren, wodurch im Falle der Landwirtschaft eine Reduktion auf die Faktoren Arbeit und Kapital (einschl. Boden) vorgenommen werden müsste. Der Einfluss anderer Faktoren auf die Input-Output-Beziehung des Produktionsprozes-

³⁴ Zu horizontalen Produktivitätsvergleichen vgl.: HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1], S. 117ff.

³⁵ STEIL, VICTOR und NELSON unterstreichen zwar die Möglichkeit, technischen Fortschritt mittels der Globalproduktivität (hier als *total factor productivity*, TFP bezeichnet) auszudrücken, weisen jedoch auf die Grenzen dieses Vorgehens hin, das zum einen „[...] the methods and measures that comprise growth accounting are hotly contested [...]“ und zum anderen „[...] the logic growth accounting only holds up for small, relatively isolated changes in technology and other factors of production [...]“. Vgl.: STEIL, B.; VICTOR, G. D.; NELSON, R. R. [Introduction], S. 7f.

³⁶ So kann z. B. die Beeinflussung der Produktivität des Faktors Arbeit durch eine verbesserte Kapitalausstattung angeführt werden. Vgl.: HANAU, A.; RUSTEMEYER, F. C. [Produktivitätsbegriff], S. 4.

³⁷ Zur Anwendung partieller Produktivitäten, insbesondere im Hinblick auf die Boden-, Arbeits- und Kapitalproduktivität vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 147-155.

³⁸ Vgl.: MUNDLAK, Y. [Economic Growth], S. 195.

³⁹ Im weiteren Verlauf der Arbeit wird dem Begriff der globalen Brutto-Produktivität der bereits eingeführte Terminus der Globalproduktivität (GP) vorgezogen.

⁴⁰ Vgl.: HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1], S. 117.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

ses bleibt auch bei dieser Vorgehensweise unberücksichtigt.⁴¹

Die Erläuterungen zeigen, dass die Isolierung der produktivitätsbeeinflussenden Wirkung des technischen Fortschritts prinzipiell nur aufgrund der Betrachtung der globalen Produktivitäten möglich ist. Die Bestimmung globaler Produktionsindizes setzt jedoch die Ermittlung konstanter Preis- und Mengendaten (Erfassung sämtlicher Input- und Outputmengen) über einen längeren Zeitraum hinweg voraus. In der Praxis führt dies, trotz genannter Einschränkungen, verbreitet zur Nutzung partieller Produktivitätsvergleiche bei der Quantifizierung des technischen Fortschritts.⁴²

Beide Arten der Produktivität können zum einen als Durchschnitts- und zum anderen als Marginalgröße betrachtet werden. Diese Unterscheidung ist dann von besonderem Interesse, wenn auf der Basis von Produktivitätsanalysen die Messung von Effizienzsteigerungen durchgeführt werden soll. So ist das Problem der Zurechnung von Produktions- und Aufwandsmengen bei der statistischen ex-post Ermittlung von Durchschnittsproduktivitäten nur unzureichend gelöst. Die Betrachtung des Grenzertrages eines Produktionsfaktors oder Faktorbündels bietet hier Vorteile, da bei unterschiedlichem Stand der Technik, jedoch bei einer gleichbleibenden Mengenrelation der klassischen Produktionsfaktoren, die Veränderung der partiellen Grenzproduktivitäten als numerischer Indikator für den technischen Fortschritt dienen kann. Hierzu ist jedoch eine konkrete Vorstellung über die jeweilige Produktionsfunktion unerlässlich, was in der Praxis daher zu einer verbreiteten Betrachtung von Durchschnittsproduktivitätskennziffern führt.⁴³

Entsprechend der vorangestellten Ausführungen basiert die hier vorgenommene Analyse der Veränderung der partiellen durchschnittlichen Produktivität aufgrund technischen Fortschritts auf Überlegungen zur neoklassischen Produktionsfunktion des allgemeinen Typs $Y = f(x_1, \dots, x_n)$.

Hierbei kann auf das Zweifaktoren-Modell zurückgegriffen werden. Gemäß Abbildung 1(1) drückt sich die (intertemporale) Veränderung der partiellen durchschnittlichen Produktivität in einer Verschiebung der neoklassischen Produktionsfunktion aus. Dabei entspricht die partielle Produktivität des Faktors F_i dem Tan-

⁴¹ Vgl.: HANAU, A.; RUSTEMEYER, F. C. [Produktivitätsbegriff], S. 4.

⁴² Vgl.: HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1], S. 119f.

⁴³ Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 134f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

gens des Fahrstrahls an dem jeweils realisierten Ertragspunkt E_i entsprechend der Produktionsfunktion f_i der Totalertragsfunktion TE . Die Analyse der aufgezeigten Veränderung zeigt mehrere Erklärungsansätze zur Erhöhung der partiellen Produktivität auf, die dem Tangens des Winkels α_i entspricht:

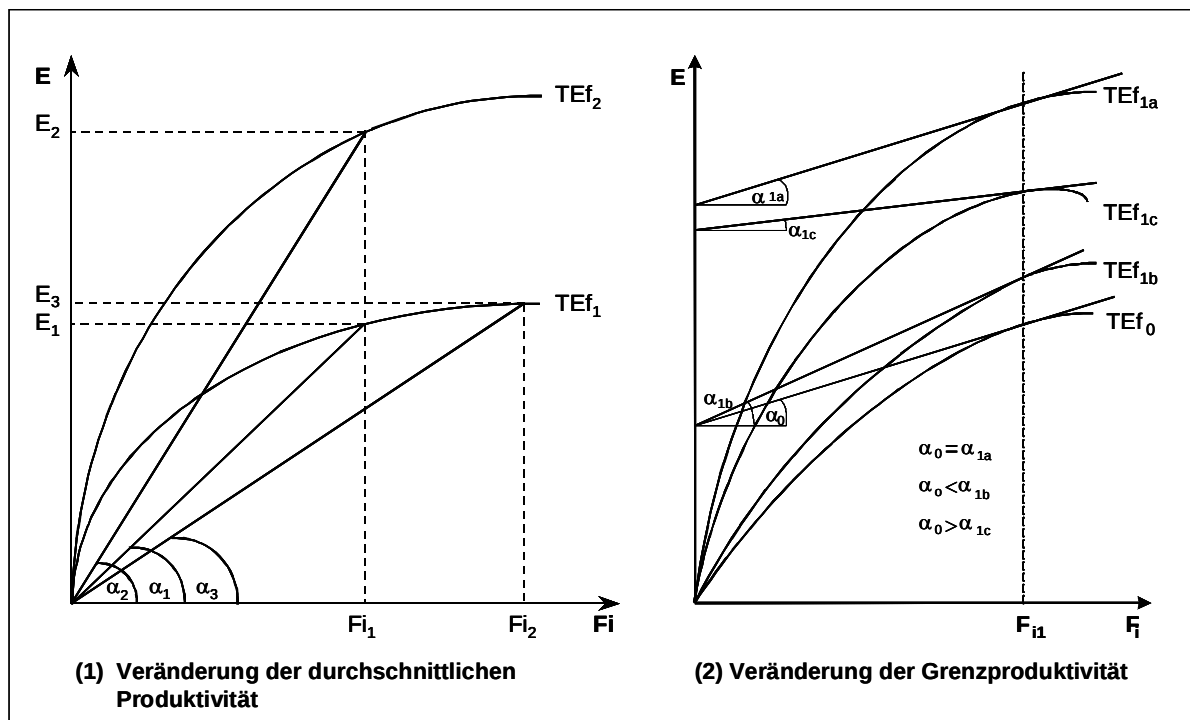
1. Verminderung der Einsatzmenge des Faktors F_i ($F_{i2} \rightarrow F_{i1}$ sowie $\tan_{\alpha3} \rightarrow \tan_{\alpha2}$);
2. Erhöhung der Einsatzmenge anderer Faktoren bei mehrfaktorieller Produktion ($TEf_1 \rightarrow TEf_2$ sowie $\tan_{\alpha1} \rightarrow \tan_{\alpha2}$);
3. Effizienzsteigerung des Faktoreinsatzes durch technischen Fortschritt ($TEf_1 \rightarrow TEf_2$ sowie $\tan_{\alpha1} \rightarrow \tan_{\alpha2}$).

Die Produktivitätserhöhung kann aufgrund dieser Ausführung als eine allgemeine Erscheinungsform des technischen Fortschritts betrachtet werden. Ist der Verlauf der Produktionsfunktion selbst in allen Parametern bekannt, lassen sich die marginalen Produktivitäten bei einer Verschiebung der Produktionsfunktion vergleichend abbilden (Abbildung 1(2)). Dabei sind hier die neoklassischen produktions- und verteilungstheoretischen Grundprämissen zu beachten. So ist die Produktionsfunktion in den beiden Faktoren Arbeit und Kapital linear-homogen, wodurch Skaleneffekte ausgeschlossen werden. Gleichwohl sind die beiden Faktoren gegenseitig substituierbar. Die Verschiebung der dargestellten Totalertragsfunktion Tef_0 (Produktionsfunktion) verkörpert somit nur in der Bewegung hin zur neuen Totalertragsfunktion Tef_1 einen technischen Fortschritt, da mit einer gegebenen Mengenkombination - und somit konstanter Grenzproduktivität ($\tan_{\alpha0} = \tan_{\alpha1}$) - ein höherer Totalertrag erreicht wird. Scharf abzugrenzen ist daher der Effekt des technischen Fortschritts von Skalen- und Substitutionseffekten.⁴⁴

⁴⁴ OTT weist jedoch darauf hin, dass „[...] der technische Fortschritt im allgemeinen mit einer Substitution verbunden (ist) [...]“, da bei dem Übergang von einem alten zu einem neuen Produktionsverfahren Produktionsfaktoren oder Gruppen von Produktionsfaktoren ersetzt werden. Jedoch ist dies, wie aufgezeigt, keine notwendige Bedingung des technischen Fortschritts, da im Grenzfall ein neues Produkt auch neu entstandene Bedürfnisse befriedigt. Eine Substitution der Produktionsfaktoren liegt folglich nur hinsichtlich der „totalen Konkurrenz“ zwischen allen Produktionsfaktoren grundsätzlich vor. Vgl.: OTT, A. [Technischer Fortschritt], S. 303.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Abbildung 1: Produktivitätsveränderungen bei der Verschiebung der neoklassischen Produktionsfunktion

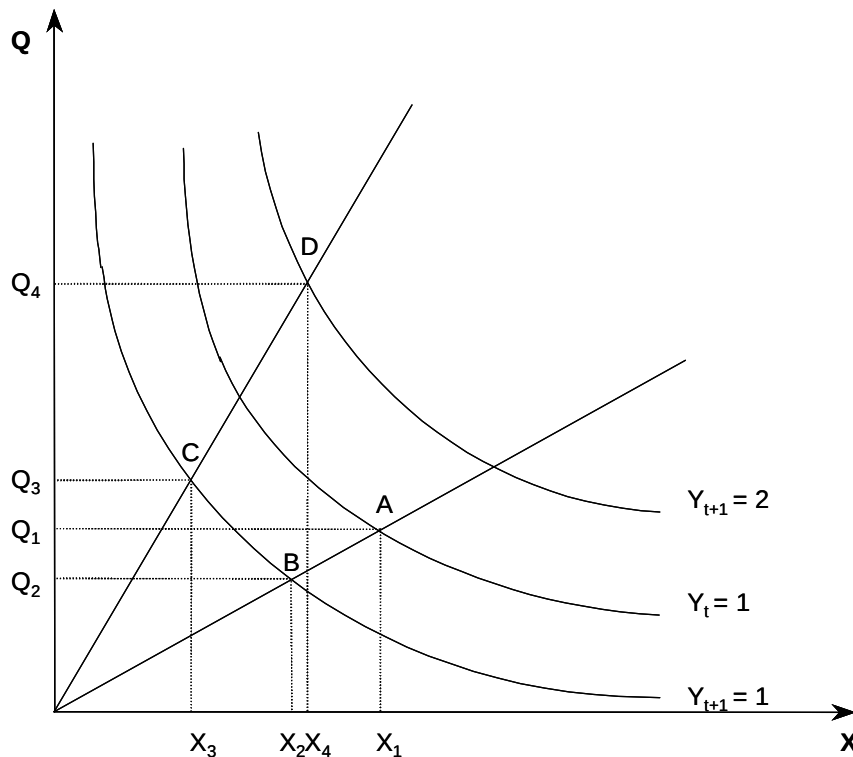


Quelle: Eigene Darstellung und Bearbeitung nach HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1], S. 113 sowie PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S. 46.

Der technische Fortschritt drückt sich insgesamt in einer Zunahme der globalen Faktorproduktivität aus und ist als eine Verschiebung der Produktionsfunktion nach oben definiert. Ausdruck findet dieses Phänomen in einer Aufwölbung des Ertragsgebirges über der Faktorebene (zweifaktorielle Produktion) bzw. in der Verschiebung der Isoquante hin zum Ursprung des Koordinatensystems.⁴⁵

⁴⁵ Hierzu wird vorausgesetzt, dass die Produktionsfunktion homogen ist und den Grad 1 besitzt. Vgl.: PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S. 42.

Abbildung 2: Wachstumseffekte im Isoquantenmodell



Quelle: Eigene Darstellung und Bearbeitung nach WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 576.

Die einzelnen Wachstumseffekte können mithilfe der in Abbildung 2 dargestellten Isoquantenschar aufgezeigt werden.⁴⁶ Diese ergibt sich aus der Kombination der beiden Faktoren X und Q , welche in einer wachstumstheoretischen Betrachtung mit Arbeitspotential X (Bevölkerung) und Kapitaleinsatz Q gleichgesetzt werden können. Im hier zugrunde gelegten neoklassischen Modell unterliegt jedoch der intensivere Einsatz des Faktors Kapital einem abnehmenden Ertragszuwachs. Der Anstieg der Arbeitsproduktivität ist somit hauptsächlich auf den technischen Fortschritt zurückzuführen. Die Wachstumsrate der Totalertragsfunktion bzw. des Sozialprodukts lässt sich folglich als Summe der Fortschrittsrate ($A \rightarrow B$), der Kapitalintensivierungsrate (Substitutionseffekt, $B \rightarrow C$) und der Wachstumsrate der Arbeit (Niveau- oder Skaleneffekt, $C \rightarrow D$) ausdrücken.⁴⁷

⁴⁶ Dabei umschreiben die beiden Isoquanten mit dem Ertrag 1 ($Y_t=1$, $Y_{t+1}=1$) das jeweils gleiche Produktionsergebnis. Im Übergang zur Isoquante $Y_{t+1}=2$ hat sich der Output in der Folgeperiode verdoppelt.

⁴⁷ HANAU und RUSTEMEYER nennen mit dem Auftreten von Ernteschwankungen sowie dem Aggregationseffekt (Erhöhung der Globalproduktivität einer Volkswirtschaft aufgrund struktureller Anpassungsprozesse bei gleichzeitiger Beibehaltung der partiellen Produktivitäten) zwei weitere

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Entsprechend dieser Erkenntnisse wird das Phänomen des technischen Fortschritts in der Literatur in einen technischen Fortschritt im engeren Sinn (i. e. S.) und einen im weiteren Sinn (i. w. S.) untergliedert.⁴⁸ Dabei umfasst der technische Fortschritt i. e. S. ausschließlich jene Effekte, die eine Verschiebung der Produktionsfunktion in positiver Richtung bewirken.⁴⁹ Der technische Fortschritt i. w. S. stellt einen Sammelbegriff verschiedener qualitativer Einflüsse, so Skaleneffekte und Effekte mit Auswirkungen auf die Qualität der Faktoren Arbeit und Kapital, dar, die eine realkostensenkende Wirkung haben.⁵⁰ Insgesamt stellen beide Definitionen auf qualitative Faktoren ab und sind etwa von Substitutionseffekten klar abzugrenzen.⁵¹

Aufgrund der beachtlichen Schwierigkeiten, die Wirkung des technischen Fortschritts (i. e. S.) mittels globaler Produktivitätsindizes ausreichend zu isolieren,⁵² wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl von partiellen Produktivitätsanalysen für die landwirtschaftlichen Input-Output-Relationen erstellt. Gleichwohl konnten Berechnungen der globalen Produktivität des Sektors für verschiedene Länder vorgelegt werden.⁵³

Als einfachster Ansatz zur Index-Bildung wird in der Literatur häufig der Laspeyers-

Ursachen zur Veränderung von Produktivitäten. Vgl.: HANAU, A.; RUSTEMEYER, F. C. [Produktivitätsbegriff], S. 5f.

⁴⁸ Vgl.: IHLAU, T.; RALL, L. [Messung], S. 21f.

⁴⁹ Diese Charakterisierung des technischen Fortschritts i. e. S. entspricht der Feststellung SCHUMPETERS, dass technischer Fortschritt „die Aufstellung einer neuen Produktionsfunktion“ [im engl. Original: „the setting up of a new production function“] definiert. Innovationen verändern somit die Form der Funktion. Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Konjunkturzyklen], S. 94f und S. 101.

⁵⁰ Prinzipiell kann die Gesamtqualität eines Gutes in einer technischen und einer hedonistischen Qualitätskomponente beschrieben werden. Während erstere alle jene Eigenschaften umfasst, die das Gut zur Ausübung bestimmter Funktionen besitzt, beschreibt die hedonistische Produktqualität die Eigenschaften, die vom Käufer bzw. Nutzer rein subjektiv dem Gut zugeordnet werden.

Zur Äquivalenz der Qualität von Gütern gibt LASSMANN eine Definition, wonach Güter in der „[...] Zusammensetzung ihrer Substanz, der äußeren Form und Gestalt, der Art ihrer produktiven Verrichtung, dem Aufenthaltsort und dem Zeitpunkt ihrer Existenz [...]“ übereinstimmen müssen, um als qualitativ identisch angesehen werden zu können. LASSMANN, G. [Produktionsfunktion], S. 89.

⁵¹ Nach der Beurteilung von BOMBACH, G. ist die ökonometrische Trennung von Skalenerträgen, Effizienz-, Verteilungs- und Substitutionsparametern nahezu unmöglich. So verweist er auf den geringen Aussagewert bei einer Trennung in Substitutions- und Fortschrittskomponenten. Vgl.: Bombach, G. [Produktivitätsmessung], S. 49 – 52.

Im folgenden findet hier der Begriff des technischen Fortschritts i. e. S. als Definition des Begriffs „technischer Fortschritt“ Anwendung.

⁵² Vgl.: IHLAU, T.; RALL, L. [Messung], S. 21f.

⁵³ Vgl.: HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1], S. 119-124, MUNDLAK, Y. [Economic Growth], S. 353-389, BARTON, G. T.; LOOMIS, R. A. [Differential Rates], S. 1551-1561 sowie MICHALEK, J. [Technological Progress].

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Mengenindex beschrieben, der die Änderungen einer Leontief-Produktionsfunktion wiedergibt. Dies bedeutet, dass bei der Volumenrechnung auf dieser Basis eine Skalenelastizität von eins sowie konstante Grenzproduktivitäten unterstellt werden. Sämtliche Output- und Inputkombinationen gelten somit als technischer Fortschritt.⁵⁴

Als eine realitätsnähere Vorgehensweise zur Volumenbetrachtung erwies sich die Anwendung des Törnquist-Theil-Indexes, dem eine neoklassische Produktionsfunktion mit abnehmender Grenzrate der Substitution zugrunde liegt.⁵⁵ Der Index bildet dabei die Veränderungen einer Translog-Produktionsfunktion ab, mit deren Hilfe es aufgrund ihrer flexiblen Form möglich ist, variable Substitutionsmöglichkeiten wiederzugeben.⁵⁶

Hingegen ist die Messung des technischen Fortschritts für neuartige Kapitalgüter unter dem Eindruck der oben getroffenen Aussagen relativ einfach, da die für die Investition in Kapitalgüter maßgeblichen Größen Grenzertrag und Grenzkosten bzw. die Produktivitätsveränderungen messbar und somit vergleichbar sind. So kann unterstellt werden, dass technische Fortschritte entsprechend der messbaren Faktorpreisverhältnisse wirksam werden.⁵⁷ Wesentlich schwieriger stellt sich hingegen die Messung des technischen Fortschritts im Falle neuartiger Konsumgüter dar. So kann zwar angenommen werden, dass technischer Fortschritt bei Konsumgütern dann vorliegt, wenn eine Menge an Konsumgütern mit geringerem Faktoreinsatz produziert werden kann als eine nutzenäquivalente Menge alter Konsumgü-

⁵⁴ Der technische Fortschritt gilt demnach als Hicks-neutral und autonom, was insgesamt als eine wenig realitätsbezogene Implikation anzusehen ist. Vgl.: HENZE, A. [Marktforschung], S. 256 sowie Kapitel 2.3.2.2.

Vorteilhaft in Bezug auf die Erhebungspraxis ist beim Laspeyres-Mengenindex, dass die Gewichtungen über mehrere Perioden hinweg beibehalten werden, weshalb dieser Index gegenüber dem Paasche-Index - bei welchem die Gewichtungen die (hypothetischen) relativen Wertgrößen (Umsätze) darstellen, die durch Multiplikation von aktuellen Preisen mit Mengen der Basiszeit zustande kommen - in der Praxis bevorzugt wird. Vgl.: HENZE, A. [Marktforschung], S. 119-123.

⁵⁵ Vgl.: BALL, E. [Productivity], S. 475-486 sowie HOCKMANN, H. [Quantifizierung technischer Fortschritte], S. 111f.

⁵⁶ Zur Konstruktion eines Törnquist-Theil-Indexes aus einer allgemeinen Produktionsfunktion sowie zu dessen Anwendung zur Produktivitätsmessung in der Landwirtschaft vgl.: HOCKMANN, H. [Produktivität], S. 393-415 sowie Kapitel 2.3.2.1.

Zur Schätzung des technischen Fortschritts mithilfe der Translog-Funktion für den landwirtschaftlichen Sektor vgl. exemplarisch: BALL, E. [Productivity] sowie MICHALEK, J. [Technological Progress].

⁵⁷ Hierbei wird jedoch unterstellt, dass sich Marktpreise frei bilden können und somit die tatsächlichen Knappheitsverhältnisse zum Ausdruck kommen. Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 15f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

ter. Die Bestimmung des Umfangs des technischen Fortschritts ist aufgrund der Durchführung von intertemporalen und interpersonellen Nutzenvergleichen hier jedoch praktisch nicht durchführbar.⁵⁸ Aufgrund dieses Sachverhaltes gelingt die Bestimmung eines zukünftigen möglichen Nutzungsumfangs von neuartigen Kapitalgütern wesentlich besser als dies bei Konsumgütern der Fall ist. Eine Abstufung bei der Möglichkeit der Messung des technischen Fortschritts stellen Kapitalgüter dar, bei welchen die Investitionsentscheidung nicht ausschließlich auf der Wahrnehmung der monetären Relation von Grenzertrag und Grenzerlös beruht, sondern zu einem Teil auf Betrachtung des individuellen Nutzens – entsprechend Kapitalgütern – basiert. Infolgedessen formuliert PROSI eine Definition des technischen Fortschritts: „Technischer Fortschritt im ökonomischen Sinne⁵⁹ liegt dann vor, wenn ein bestimmter Output durch eine technische Änderung mit geringerem Faktoraufwand erzielt oder wenn mit gleichem Faktoraufwand ein größerer Output erreicht werden kann. Der technische Fortschritt bewirkt dann eine Änderung der Input-Output-Relation im weitesten Sinne, wobei der Output sowohl in neutralen Ertragseinheiten als auch in Nutzengrößen definiert sein kann.“⁶⁰

2.3 Klassifikation des technischen Fortschritts

2.3.1 Zur Klassifikation des technischen Fortschritts

Bei der hier vertretenen Klassifizierung des technischen Fortschritts wird - im Gegensatz zu seiner Systematisierung, welche die Einordnung des Phänomens nach seiner Entstehung zum Gegenstand hat⁶¹ - explizit auf die Wirkung von Neuerungen abgestellt.⁶² Diese Vorgehensweise entspricht sowohl den in der Literatur vorliegenden Ansätzen von Autoren, die eine neoklassische Produktionsfunktion unterstellen, wie auch den Beiträgen, die, ausgehend von einer linearen Kostenfunktio-

⁵⁸ Vgl.: PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S. 31f.

⁵⁹ Anstelle des Terminus „technischer Fortschritt im ökonomischen Sinne“ empfiehlt PROSI den Begriff „ökonomischer Fortschritt auf technischer Grundlage“, wodurch eine schärfere Abgrenzung hin zum ingenieurwissenschaftlich geprägten Begriff des „technischen Fortschritts“ möglich sein soll. Vgl.: PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S. 32.

Entgegen dieser Begriffsdefinition findet hier weiterhin der Ausdruck „technischer Fortschritt“ Verwendung, da der Begriff in dem hier gebräuchlichen Sinne in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur gemeinhin verbreitet ist.

⁶⁰ PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S. 31f.

⁶¹ Vgl. Kapitel 2.4.

⁶² Hier soll und kann jedoch nur auf die unmittelbaren Wirkungen des technischen Fortschritts eingegangen werden. Die vielfältigen Folgewirkungen technischer Fortschritte können dagegen nur angedeutet werden.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

on, die Wirkung des technischen Fortschritts auf verschiedene Kostenverläufe betrachten.⁶³ Über diese Vorgehensweise hinaus werden in der Literatur eine Vielzahl von Klassifikationsvorschlägen zu Fortschrittswirkungen unterbreitet, die sich in ihrer Bedeutung teilweise überlappen oder in ihren Begriffen korrespondieren, jedoch in der vorliegenden Arbeit als nicht zielführend angesehen werden.⁶⁴

Unabhängig von der Diskussion um das Auftreten des technischen Fortschritts als exogene bzw. endogene Variable im wirtschaftlichen Prozess wird hier auf die grundsätzliche Wirkung des Phänomens abgestellt. Um die Wirkung technischer Fortschritte in frühen wachstumstheoretischen Modellen zu beschreiben, wurde der technische Fortschritt von verschiedenen Autoren⁶⁵ als exogene Größe aufgefasst, d. h., seine Entwicklung wurde im Zeitablauf $T(t)$ als gegeben akzeptiert. Diese Vorgehensweise findet darin ihre Begründung, dass in der Realität in den Industrieländern ein wirtschaftliches Wachstum beobachtet wurde, dessen Ausprägung und Entstehung sich nicht mehr alleine durch die reine Kapitalakkumulation erklären ließ.⁶⁶ Die Modellannahme der Exogenisierung des technischen Fortschritts ist dabei jedoch umso umstrittener und unbefriedigender, je mehr der technische Fortschritt als Hauptfaktor der wirtschaftlichen Entwicklung erkannt wurde. Dennoch sind die Modelle prägend für die wissenschaftliche Betrachtung des technischen Wandels und m. E. hilfreich für die hier notwendige grundlegende Erklärung der Wirkung technischer Fortschritte.⁶⁷

2.3.2 Ausgewählte Konzepte zur Verschiebung der Produktionsfunktion⁶⁸

2.3.2.1 Das Verschiebungskonzept

Wie bereits im Zusammenhang mit der Abgrenzung technischer Fortschritte im Hinblick auf veränderte Faktorproduktivitäten angedeutet, stellt die Analyse der

⁶³ Vgl.: IHLAU, T.; RALL, L. [Messung], S. 22f.

⁶⁴ Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 570.

⁶⁵ Hier sind vor allem JOHN RICHARD HICKS, ROY FORBES HARROD und ROBERT MERTON SOLOW zu nennen, deren Klassifikationskonzepte nachfolgend näher vorgestellt werden.

⁶⁶ Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 249.

⁶⁷ Hier sei auf die weiter unten getroffenen Aussagen zum neoklassischen Wachstumsmodell (Kapitel 2.5.2) verwiesen, die eine tiefere Betrachtung des Themas an dieser Stelle nicht notwendig machen.

⁶⁸ Die in dieser Arbeit getroffene Auswahl der verschiedenen, nachfolgend vorgestellten Klassifikationen kann in Breite und Tiefe nicht umfassend sein, da sie unter dem Gesichtspunkt der Relevanz der Aussagen der jeweiligen Ansätze in Bezug auf die hier vorliegenden Fragestellungen erfolgte.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Produktionsfunktion, neben der Quantifizierung des technischen Fortschritts mittels Indizes, eine Alternative zur Ermittlung der Produktivitätsentwicklung dar.⁶⁹

Grundüberlegung der hier betrachteten Modelle zum Verschiebungskonzept der Produktionsfunktion ist die Analyse der Wirkung des technischen Fortschritts auf wenige relevante Variablen der Produktionsfunktion, hier Arbeit (A) und Kapital (K).⁷⁰ Dabei werden für die Produktionsfunktion folgende Grundprämissen unterstellt.⁷¹

- (1) Die Produktionsfunktion $Y = f(A, K; t)$ ist linear-homogen in den Faktoren Arbeit und Kapital und besitzt den Wert $r=1$, was somit Skaleneffekte ausschließt.
- (2) Arbeit und Kapital sind gegenseitig mit der Elastizität $0 < \sigma < +\infty$ substituierbar.
- (3) Für die Faktoren Arbeit (A) und Kapital (K) herrscht eine Entlohnung entsprechend der jeweiligen Grenzproduktivität (l = Lohnansatz, q = Zinsansatz).

$$(2.4) \quad f_a = \frac{\Delta Y}{\Delta A} = l; \quad f_k = \frac{\Delta Y}{\Delta K} = q$$

Werden diese Zusammenhänge durch Veränderungen der Produktionsfunktion nicht verändert, so liegt in diesen Modellen grundsätzlich ein (verteilungs) „neutraler“ technischer Fortschritt vor. Nicht-neutraler Fortschritt liegt dementsprechend dann grundsätzlich vor, wenn sich die Faktorstruktur und somit der Isoquanten-Verlauf fortschrittsbedingt verändern.

Die in der Literatur am häufigsten diskutierte Form einer den obigen Bedingungen entsprechenden einfachen substitutionalen Produktionsfunktion stellt die Cobb/Douglas- bzw. die Wicksell-Cobb-Douglas-Produktionsfunktion dar.⁷² Die Cobb/Douglas-Funktion (Gleichung (2.5)) hat die Form:

⁶⁹ Vgl.: Kapitel 2.2.

⁷⁰ Als weiterer originärer Produktionsfaktor lässt sich zudem der eingesetzte „Boden“ benennen. Auch sind weitere Produktionsfaktoren denkbar. Vgl.: HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1], S. 240.

⁷¹ Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 570f.

⁷² WICKSELL arbeitete zunächst theoretisch mit dieser Funktionsform, die später von P. H. COBB und CH. W. DOUGLAS empirisch bestätigt wurde. Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 70 sowie COBB, P. H.; DOUGLAS, CH. W. [Theory], S. 139-165.

$$(2.5) \quad Y = A^\alpha K^\beta$$

mit Y = Produktionsumfang

A = Einsatzumfang Faktor Arbeit

K = Einsatzumfang Faktor Kapital

$$\alpha = \frac{\partial Y}{\partial A} \cdot \frac{A}{Y} \text{ (partielle Produktionselastizität der Arbeit)}$$

$$\beta = \frac{\partial Y}{\partial K} \cdot \frac{K}{Y} \text{ (partielle Produktionselastizität des Kapitals)}$$

Bei konstanten Skalenerträgen repräsentiert aufgrund der Grenzproduktivitätsentlohnung der Faktoren Arbeit und Kapital α gemäß oben angeführter Definition die Lohnquote l , wodurch entsprechend $\beta = 1 - \alpha$ die Gewinnquote darstellt. Für den Fall konstanter Skalenerträge besitzt die Funktion die Skalenelastizität $\varepsilon_{Y\lambda} = \alpha + \beta = 1$, wodurch die Funktion linear-homogen ist (Homogenitätsgrad $r = 1$) und unter Einbeziehung des Niveaus des Faktoreinsatzes (γ = Effizienz- oder Niveauparameter) die folgende Gestalt einnimmt:

$$(2.6) \quad Y = \gamma A^\alpha K^{1-\alpha}$$

Die Substitutionselastizität σ nimmt hierbei konstant den Wert -1 ein. Der technische Fortschritt kann in den Term mit t eingeführt werden. Werden zudem Verteilungsänderungen durch Fortschrittswirkungen unterstellt (aneutraler technischer Fortschritt), ergibt sich der in Gleichung (2.7) dargestellte unspezifische Fortschrittsterm:

$$(2.7) \quad Y = \gamma(t) A^{\alpha(t)} K^{1-\alpha(t)}$$

Es zeigt sich jedoch, vor allem bei der Annahme nicht-neutraler Fortschrittswirkungen, dass die beschriebene Cobb/Douglas-Funktion - von der allgemeinen Beurteilung der neoklassischen Produktionsfunktion abgesehen⁷³ - in der Hypothese $\sigma = -1$ Übertragungsprobleme in die Realität aufweist. Die von ARROW ET AL.⁷⁴ vorgestellte „Constant Elasticity of Substitution“ Produktionsfunktion“ (CES-Funktion), welche sich ebenfalls durch konstante Skalenerträge und Substitutionselastizitäten aus-

⁷³ Vgl.: Kapitel 2.5.2.

⁷⁴ Vgl.: ARROW, K. J.: [Substitution], S. 225-250.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

zeichnet (wobei $\sigma = -1$ keine Grundannahme darstellt), kann als Verallgemeinerung der Cobb/Douglas-Produktionsfunktion verstanden werden.⁷⁵ Ihre linear-homogene Schreibweise ist in Gleichung (2.8) dargestellt.

$$(2.8) \quad Y = \gamma^* \left[\delta K^{-\rho} + (1 - \delta) L^{\frac{-1}{\rho}} \right]$$

mit δ = Distributionsparameter

ρ = Substitutionsparameter

Der Substitutionsparameter ρ beschreibt dabei die Krümmung, der Distributionsparameter δ die Schiefe der Isoquanten. Bei einer weitergehenden Aufhebung von Definitionskriterien bis hin zur Auflösung der konstanten Substitutionselastizität sind eine Vielzahl weiterer Funktionstypen denkbar.⁷⁶ Exemplarisch kann die Translog-Funktion genannt werden, die eine flexiblere und realitätsnähere Produktionsfunktion darstellt. Hier variiert die Skalenelastizität in Abhängigkeit vom Output und der Inputstruktur, die Produktions- und Skalenelastizitäten sind ebenfalls veränderlich.⁷⁷

Zur Erläuterung von Fortschrittswirkungen wird in dem hier vorliegenden Kontext, entsprechend der in der Literatur verbreiteten Vorgehensweise, eine Fokussierung auf die oben dargestellten Funktionsformen (CES-Funktion bzw. Cobb/Douglas-Produktionsfunktion) als zielführend angesehen.⁷⁸

2.3.2.2 Der Ansatz von Hicks

Eine der wichtigsten Klassifikationen des technischen Fortschritts stammt von Hicks, der eine Neutralitätsdefinition des technischen Fortschritts in Bezug auf die Einkommensverteilung formulierte.⁷⁹

Der technische Fortschritt ist nach Hicks als neutral zu bezeichnen, wenn bei kon-

⁷⁵ Weitere Spezialfälle der CES-Produktionsfunktion stellen die lineare Produktionsfunktion ($\sigma = -\infty$; $\rho = -1$) sowie die Leontief-Funktion ($\sigma = 0$; $\rho = \rightarrow \infty$) dar.

⁷⁶ Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 571.

⁷⁷ Die Translog-Funktion besitzt die Form $\ln q_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln x_{it} + 0,5 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \ln x_{it} \ln x_{jt}$ mit q = Produktionsmenge, x_i = Menge der Faktoren 1 bis n , x_j = Menge der Faktoren 1 bis n , α_i = Parameter der Faktoren 1 bis n , β_{ij} = Parameter aller Faktorkombinationen x_i mit x_j . Vgl.: HENZE, A. [Marktforschung], S. 257f.

⁷⁸ Vgl.: HENZE, A. [Marktforschung], S. 256.

⁷⁹ Vgl. hierzu weiterführend: HICKS, J. R. [Theory].

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

stanten Faktorintensitäten alle Grenzproduktivitäten in gleichem Ausmaß steigen. So ist bei gegebenem Faktoreinsatzverhältnis (K/A) das Faktorpreisverhältnis und somit die Einkommensverteilung unverändert.⁸⁰

Diese Neutralitätsdefinition des technischen Fortschritts kommt nach Abbildung 3(1) darin zum Ausdruck, dass sich die Isoquanten radial-parallel gegen den Ursprung verschieben. Ihre Neigung auf dem durch den Winkel β gekennzeichneten Fahrstrahl bleibt unverändert, wobei $\tan\beta$ der unveränderten Lohn-Zins-Relation ($l/q = \text{const.}$) entspricht. Die Steigung der Isoquanten ($\tan\alpha$ und $\tan\alpha_{t+1}$) in den Punkten A_t und A_{t+1} , die beide auf dem gleichen Fahrstrahl liegen, ist gleich, wodurch eine proportionale Erhöhung der Grenzproduktivitäten bzw. der Grenzrate der technischen Substitution (GRTS) vorliegt.⁸¹ Die entsprechende Cobb/Douglas-Funktion eines verteilungskonstanten technischen Fortschritts nach Hicks lässt sich nach Gleichung (2.9) formulieren:

$$(2.9) \quad Y = \gamma(t) * A^\alpha K^{1-\alpha}$$

Der nicht-neutrale technische Fortschritt nach Hicks stellt entsprechend der Abbildung 3(2) eine Verschiebung als auch Neigung der Isoquante dar. Die GRTS fällt hier bei einer konstanten Intensität K/A ($\tan\beta = \text{const.}$) von A_t nach A_{t+1} unter den Wert 1, da die Grenzproduktivität der Arbeit gegenüber der Grenzproduktivität des Kapitals nur unterdurchschnittlich zugenommen hat ($\Delta A > \Delta K$). Entspricht im weiteren Verlauf der Produktionsanpassung aufgrund der Wirkung des technischen Fortschritts wieder die Grenzrate der technischen Substitution dem Faktorpreisverhältnis, wird die Kapitalintensität bei einer konstanten Lohn-Zins-Relation erhöht ($\tan\beta_t < \tan\beta_{t+1}$), was zu einer Verringerung des Einsatzes des Faktors Arbeit im Produktionsprozess führt. Der hier beschriebene aneutrale technische Fortschritt ist somit arbeitssparend, da sich bei gegebener Kapitalintensität die Grenzproduktivität des Kapitals (Realzins) stärker erhöht als die Grenzproduktivität der Arbeit (Reallohn). Entsprechend ist mit dieser Entwicklung ein Absinken der Lohnquote verbun-

⁸⁰ Vgl.: Hicks, J. R. [Theory], S. 121ff.

⁸¹ Dabei verhalten sich die Grenzzraten der technischen Substitution der Faktoren Arbeit und Kapital

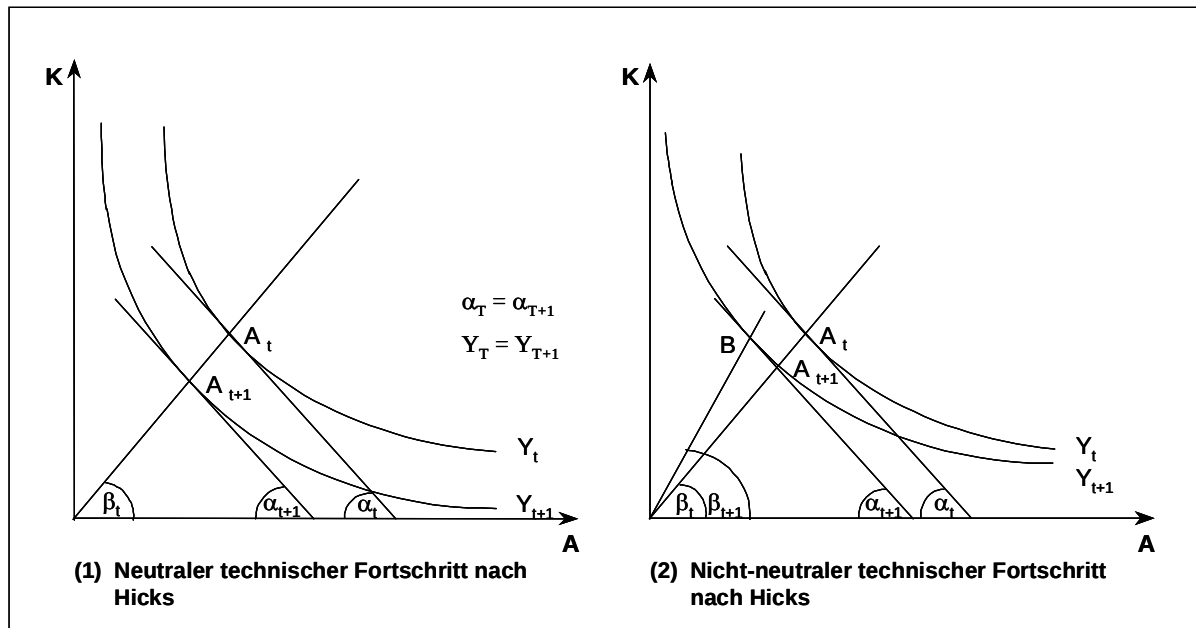
entsprechend der nachstehenden Gleichung:

$$\tan\alpha_t = \frac{\frac{\partial Y_t}{\partial A}}{\frac{\partial Y_t}{\partial K}} = \frac{\frac{\partial Y_{t+1}}{\partial A}}{\frac{\partial Y_{t+1}}{\partial K}} = \tan\alpha_{t+1}$$

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

den. Somit liegt ein kapitalsparender technischer Fortschritt nach Hicks vor, wenn sich die Grenzproduktivität der Arbeit stärker als jene des Kapitals erhöht.⁸²

Abbildung 3: Klassifikation nach Hicks



Quelle: Eigene Darstellung und Bearbeitung nach WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 571 sowie HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Band 1], S. 244.

2.3.2.3 Die Ansätze von HARROD und SOLOW

Die Neutralitätsdefinitionen nach HARROD und SOLOW analysieren den technischen Fortschritt, im Gegensatz zum zuvor beschriebenen Ansatz von HICKS, nicht nach seinen Verteilungswirkungen, sondern stellen vor allem auf dessen volkswirtschaftliche Wachstumswirkungen ab, wobei SOLOW zunächst keine spezielle Klassifikation der Fortschrittswirkungen beabsichtigt bzw. tatsächlich entwickelt hat.⁸³

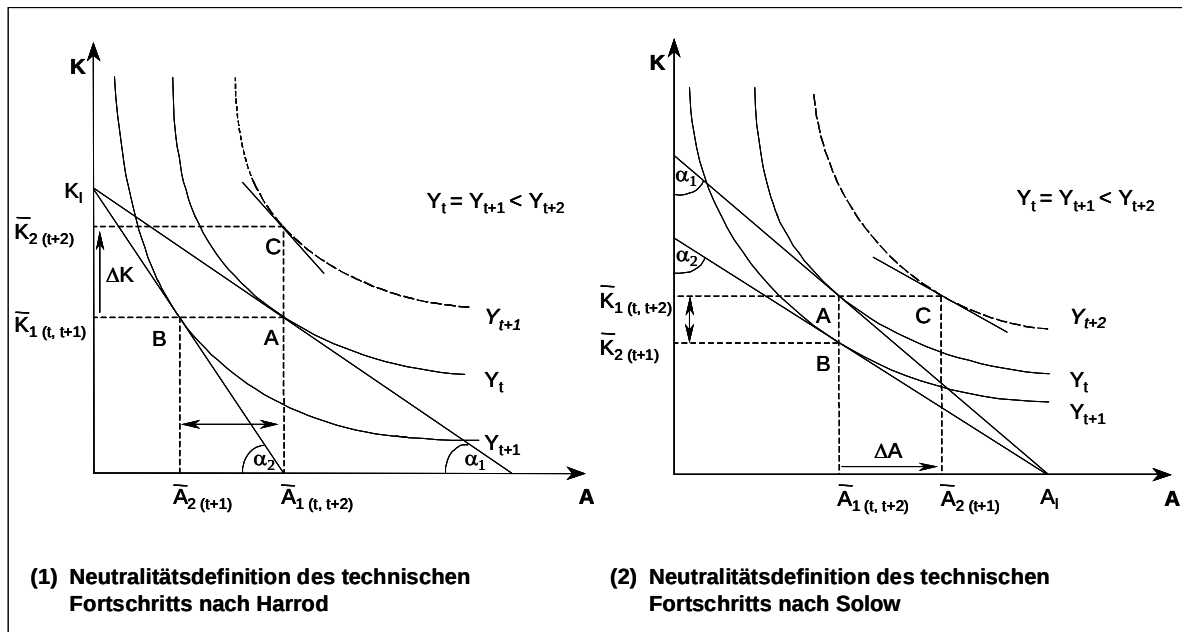
Die in Abbildung 4(1) dargestellte Klassifikation nach HARROD und die später nach SOLOW benannte Klassifikation (2) zeigen, dass beide Klassifikationen jeweils gegenseitig ein exaktes Spiegelbild darstellen.

⁸² Vgl.: OTT, A. [Technischer Fortschritt], S. 304.

⁸³ Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 572.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Abbildung 4: Klassifikation nach HARROD und SOLOW



Quelle: Eigene Darstellung und Bearbeitung nach WALTER, H., [Technischer Fortschritt], S. 571 sowie HENZE, A. [Produktionsmittel], S. 26f.

Der arbeitsvermehrnde technische Fortschritt nach HARROD

Nach HARROD ist der technische Fortschritt als neutral zu bezeichnen, wenn er das dynamische Gleichgewicht einer wachsenden Volkswirtschaft nicht stört. Hierzu ist es erforderlich, dass bei einem konstanten realen Kapitalpreis in K_1 (Zinssatz = Grenzproduktivität des Kapitals) der Kapitalkoeffizient $\bar{K}$ (K/Y) unverändert bleibt.⁸⁴ Die Konstanz des Kapitalkoeffizienten impliziert dabei eine proportionale Erhöhung der Kapitalintensität (K/A) sowie der Arbeitsproduktivität, was in Abbildung 4(1) in der Bewegung vom Gleichgewichtspunkt A (in t_{+1}) hin zum neuen Gleichgewichtspunkt B (in t_{+2}) zum Ausdruck kommt. Der neue Gleichgewichtspunkt zeichnet sich durch einen proportional zur Arbeitersparnis erhöhten Lohnsatz ($\tan \alpha_{t+1} > \tan \alpha_{t1}$) aus, was dem Umfang der Arbeitsproduktivitätssteigerung entspricht. Die Betrachtung der in Gleichung (2.10) dargestellten Cobb/Douglas-Funktion des HARROD-neutralen technischen Fortschritts zeigt, dass der Einkommensanteil des Kapitals im hier dargestellten Zweifaktoren-Modell konstant bleibt.⁸⁵

⁸⁴ Vgl.: WALTER, H. [Neutraler Technischer Fortschritt], S. 64f.

⁸⁵ Vgl.: HEUBES, J. [Harrod], S. 301ff.

$$(2.10) \quad Y = [\gamma(t)A]^\alpha K^{1-\alpha}$$

Dies bedeutet, dass der Faktorpreis der Arbeit in der Höhe der Fortschrittsrate ansteigt, was in der Drehung der Kostengrade in Punkt K_1 zum Ausdruck kommt. Als Folge dessen wird der Einsatz des Faktors Arbeit reduziert (labour-augmenting). Um wieder den Umfang der Beschäftigung vor Einwirkung des technischen Fortschritts in $A_{t \text{ bzw. } t+2}$ zu erreichen, ist eine zusätzliche Kapitalakkumulation (ΔK) notwendig. Dieser Schritt führt jedoch zu der Isoquante Y_2 , die ein höheres Output-Niveau darstellt.

Im Falle des arbeitssparenden technischen Fortschritts nach HARROD steigt somit bei konstantem Zinssatz der Kapitalkoeffizient bzw. bei konstantem Kapitalkoeffizient der Zinssatz, was zu einer sinkenden Lohnquote führt.⁸⁶ Diese Wirkungen sind bei der HARROD-Neutralität darauf zurückzuführen, dass sich die Wirkungen von technischem Fortschritt und Faktorsubstitution derart ausgleichen, dass Kapitalkoeffizient, Zins und Einkommensverteilung konstant bleiben.⁸⁷

Der kapitalvermehrnde technische Fortschritt nach SOLOW

Die Neutralitätsdefinition nach SOLOW, wonach verteilungsneutrale Fortschrittswirkungen in einer quasi Kapitalvermehrung zum Ausdruck kommen, entstammt aus der Erweiterung des Konzepts des organisatorisch technischen Fortschritts um die Überlegungen zum faktorgebundenen technischen Fortschritt (Embodiment-Konzept).⁸⁸ Demnach äußert sich der technische Fortschritt in der Bildung einer neuen, ständig effizienter werdenden Kapitalausrüstung. Analog zur HARROD-Klassifikation bleibt hier bei einem konstanten Reallohnsatz A_1 der Arbeitskoeffizient $\bar{A}$ in t_1 und t_{+1} konstant. Aus der in Gleichung (2.11) dargestellten Cobb/Douglas-Funktion des HARROD-neutralen technischen Fortschritts wird ersichtlich, dass, unter Beachtung der oben angeführten Bedingungen, die Lohnquote steigt.

$$(2.11) \quad Y = A^\alpha [\gamma(t)K]^{1-\alpha}$$

Da hier die Kapitalintensität in gleichem Umfang sinkt wie die Kapitalproduktivität steigt, wirkt der technische Fortschritt kapitalvermehrnd. Der Faktorpreis des Kapi-

⁸⁶ Vgl.: HARROD, R. F. [dynamic Economics] S. 322f.

⁸⁷ Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 572f.

⁸⁸ Vgl.: SOLOW, R. M. [Technical change], S. 312-320 sowie Kapitel 2.4.2.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

tals steigt somit in der Höhe der Fortschrittsrate an, was in der Drehung der Kostengrade in Punkt A_1 zum Ausdruck kommt. Parallel zur HARROD-Definition wird nun, aufgrund der höheren Kosten, Kapital zugunsten des Einsatzes des Faktors Arbeit eingespart. Soll die Höhe des Kapitaleinsatzes vor der Einwirkung des technischen Fortschritts in $\bar{K}_1$ wieder erreicht werden, gelingt dies nur durch den vermehrten Einsatz von Arbeit (ΔA), was in der Bewegung vom Gleichgewichtspunkt B (in t_{+1}) zu dem dann neuen Gleichgewichtspunkt C (in t_{+2}) auf der Isoquanten Y_2 entspricht.

Die Wirkungen der SOLOW-Neutralität sind äquivalent mit jener der HARROD-Definition, allerdings insgesamt für den Fall einer entwickelten Volkswirtschaft irreführend. Jedoch sind sie auf wenig entwickelte Länder mit einem nahezu unbegrenzten Arbeitskräfteangebot nachvollziehbar anzuwenden.⁸⁹

2.3.3 Weitere Klassifikationsansätze

2.3.3.1 Klassifizierungen nach dem Verlauf der Kostenfunktion

Eine weitere Möglichkeit der Klassifizierung ergibt sich, wenn die kostensenkenden Wirkungen des technischen Fortschritts in den Vordergrund der Überlegungen gestellt werden. Wird dabei eine Konstanz der Faktorpreise unterstellt, so genügt bereits eine Analyse der Faktornachfrage, um Rückschlüsse auf die Kostenwirkung des technischen Fortschritts zu ziehen.⁹⁰

Die vorangestellten Erläuterungen zu Veränderungen der Produktionsfunktion aufgrund der Einführung technischen Fortschritts führen in ihrem Ergebnis zu einer Veränderung der (betrieblichen) Kostenfunktion. Wird die Veränderung der Kostenfunktion näher beleuchtet, sind verschiedene Konstanzannahmen zu unterstellen, da neben der Veränderung der Produktionsfunktion noch andere Ursachen eine Verschiebung der Kostenfunktion bewirken können. So ist die betriebliche Kostenfunktion neben dem Stand der Technik durch die Preise der Produktionsfaktoren sowie durch mindestens einen fixen Produktionsfaktor bestimmt. Um den Einfluss des technischen Fortschritts auf die Kostenfunktion aufzuzeigen, ist eine Konstanz

⁸⁹ Damit schließt SOLOW die Lücke zwischen der Neutralitätsdefinition von HICKS und HARROD. Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 571f.

⁹⁰ Vgl.: IHLAU, T.; RALL, L. [Messung], S. 45.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

der beiden Determinanten der betrieblichen Kostenfunktion zu unterstellen.⁹¹ Zur Unterbindung von Skaleneffekten ist ferner eine linear-homogene Produktionsfunktion anzunehmen.⁹²

Erfüllt die technische Änderung die Anforderungen der Definition des technischen Fortschritts im ökonomischen Sinn, liegt - unter Berücksichtigung der genannten Konstanzannahmen - eine Verschiebung der Gesamtkostenkurve nach unten vor. Die Gesamtertragsfunktion verschiebt sich dabei reziprok zur Gesamtkostenfunktion. Indem die Verläufe der Grenzkosten, der durchschnittlichen variablen und durchschnittlichen Gesamtkosten (Stückkosten) dabei vom Verlauf der Gesamtkosten abhängig sind, entsprechen die unterschiedlichen Veränderungen der Gesamtertragsfunktion daher bei gegebenem Fixkostensockel unterschiedlichen Verschiebungen der Gesamtkostenfunktion und der daraus abgeleiteten Grenz- und Durchschnittskostenfunktion.⁹³ Da sich die Funktion der durchschnittlichen Fixkosten (bei gegebenem Fixkostensockel) unter den getroffenen Annahmen nicht verändert, muss sich der Kurvenverlauf der durchschnittlichen variablen Kosten nach unten verschoben haben. Liegt eine technische Änderung im Sinne des oben definierten technischen Fortschritts vor, sinken somit bei gegebenen Fixkosten die Gesamtkosten, die durchschnittlichen variablen Kosten und somit auch die Stückkosten.

Wird die Grenzkostenfunktion als wichtige Entscheidungsgrundlage für die Faktornachfrage von gewinnmaximierenden Unternehmen betrachtet, zeigt sich, dass für die Veränderung des Funktionsverlaufes die Veränderung der Steigung der Gesamtkostenfunktion wesentlich ist. Diese kann bei gegebenen Faktorpreisen aus der Anwendung neuen technischen Wissens abgeleitet werden. Die technische Neuerung kann die Grenzkostenfunktion in unterschiedlicher Weise beeinflussen.

⁹¹ Hier sei darauf verwiesen, dass eine Verschiebung der Produktionsfunktion, die aus einer Veränderung der Verhältnisse der konstant gehaltenen Faktoren resultiert, nicht als ein Ergebnis des technischen Fortschritts gewertet werden darf.

⁹² Die Kritik an diesem Vorgehen begründet sich in der nur eingeschränkten Abbildung der wirtschaftlichen Realität. So weist PROSI darauf hin, dass „(...) die Annahme eines fixen Produktionsfaktors (..) im Zusammenhang mit technischen Änderungen problematisch [ist], da es zur Anwendung einer neuen Technik meist nötig ist, die technischen Anlagen zu verändern, und außerdem sehr häufig zur Ein- und Durchführung neuer technischer Verfahren Arbeit anderer Qualität eingesetzt werden muss“. Vgl.: PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S. 49.

⁹³ Voraussetzung eines technischen Fortschritts ist somit, dass eine technische Änderung bei gegebenen Faktorpreisen zu einer Senkung der Gesamtkosten und somit zu einer Reduzierung der durchschnittlichen Gesamtkosten (Stückkosten) führt.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Dabei ist der Funktionsbereich ökonomisch bedeutsam, in dem die Grenzerträge der fixen und variablen Produktionsfaktoren positiv sind, somit der Bereich zwischen dem Schnittpunkt der Grenzkostenkurve mit der Kurve der durchschnittlichen variablen Kosten und der Kapazitätsgrenze. Hierbei sind drei unterschiedliche Funktionsverläufe voneinander zu unterscheiden.⁹⁴

- (1) Die Grenzertragsfunktion hat sich im relevanten Bereich nach oben verschoben, die Grenzkostenfunktion dementsprechend nach unten.
- (2) Die Grenzertragsfunktion ist im relevanten Bereich gesunken, die Grenzkostenfunktion somit gestiegen. Hierbei muss jedoch die unter (3) aufgeführte Bedingung miterfüllt sein.
- (3) Die Grenzertrags- und somit auch die Grenzkostenfunktion sind im betrachteten Bereich konstant geblieben. Hierbei muss sich, wie auch bei dem unter (2) beschriebenen Fall, die Grenzertragsfunktion in dem davorliegenden Funktionsbereich (vom Schnittpunkt von Abszisse und Ordinate bis hin zum Optimalpunkt) bzw. in einem Teil dieses Bereiches nach oben verschoben haben.

Die unter (1) und (2) aufgeführten Fälle können auch gemischt auftreten. So kann der Grenzertrag in einem Abschnitt des relevanten Bereichs gestiegen (1), die Grenzkosten entsprechend gesunken und in einem anderen Abschnitt der Grenzertrag gesunken (2) und die Grenzkosten entsprechend gestiegen sein.

Klassifikation nach LANGE

Ausgehend von den vorangestellten Überlegungen zum Verlauf der Grenzertrags- und Grenzkostenfunktion, geht OSKAR LANGE unter der Annahme der Gewinnmaximierung davon aus, dass eine technische Neuerung nur dann Anwendung findet, wenn sie „(...) the discounted value of the maximum profit obtainable under existing market conditions (...)“ erhöhen.⁹⁵ Bestimmend ist daher zum einen, welche Aus-

⁹⁴ Vgl.: PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S.

⁹⁵ Lange definiert den Begriff des technischen Fortschritts (bzw. den der Innovation) dabei wie folgt: „Innovations are such changes in production functions, i. e. the schedules indicating the relation between the input of factors of production and the output of products, as make it possible for the firm to increase the discounted value of the maximum profit obtainable under existing market conditions. The profit under consideration is the total effective profit (...).“ Lange, O. R. [Price Flexibility], S. 71.

Die hier durch LANGE vorgenommene Einführung einer Risikokomponente in die Definition des technischen Fortschritts führt dazu, dass eine Innovation nicht zwangsläufig zu einer quantitati-

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

wirkungen der technische Fortschritt auf die Grenzkosten der Produktion besitzt. Zum anderen ist die Beeinflussung der Grenzproduktivität der Produktionsfaktoren durch den technischen Fortschritt entscheidend für dessen Anwendung. Bei der Analyse der Wirkung des technischen Fortschritts auf die *Grenzkostenkurve* gelangt LANGE dabei zu folgender Klassifikation:

1. Steigen die Grenzkosten im relevanten Bereich, ist der technische Fortschritt ausbringungsvergrößernd.
2. Im Falle sinkender Grenzkosten im relevanten Bereich ist der technische Fortschritt ausbringungsvermindernd.
3. Bei einer unveränderten Grenzkostenfunktion im relevanten Bereich ist der technische Fortschritt ausbringungsneutral.

Entsprechend der Betrachtung der Output-Seite lässt sich der Faktoreinsatz, bezogen auf die Änderung der *Grenzertragsfunktion*, wie folgt klassifizieren:⁹⁶

1. Erhöht sich die Grenzertragsfunktion im relevanten Bereich, ist der technische Fortschritt faktorbeanspruchend.
2. Verschiebt sich die Grenzertragsfunktion nach unten, ist der technische Fortschritt faktorsparend.
3. Verändert sich die Grenzertragsfunktion im relevanten Bereich nicht, liegt Faktorneutralität vor.

Ausgehend von der Überlegung, dass jede Einführung technischen Fortschritts bei gewinnmaximierenden Unternehmen zu einer Veränderung der Produktionsfunktion im Sinne der Maximierung der Gewinnfunktion in

Gleichung 2.12 $dG = p_1 x_1 - p_2 x_2$

führen muss, lässt sich die Gewinnveränderung durch folgende Beziehung abbilden:

Gleichung 2.13 $dG = p_1 dx_1 - p_2 dx_2$.

ven Veränderung der Produktionsfunktion führen muss. Vielmehr kann auch dann von einer Innovation gesprochen werden, wenn durch entsprechende Maßnahmen die „technologische Unsicherheit“ bei gleichbleibender Input-Output-Relation gesenkt und dadurch eine Reduzierung der Risikoprämie ermöglicht wird. Vgl.: Lange, O. R. [Price Flexibility], S. 71ff.

⁹⁶ Hier ist darauf zu verweisen, dass dem Modell ein konstanter Faktorpreis zugrunde liegt.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Wird die Klassifikation des technischen Fortschritts nach seiner Ausbringung mit der Einteilung nach seiner Wirkung auf den Faktoreinsatz unter der Bedingung, dass in t_{+1} $dG > 0$ sein soll, kombiniert, ergeben sich die in Übersicht 1 aufgeführten Kombinationen.⁹⁷

Übersicht 1: Klassifikation nach den Veränderungen der Grenzkosten- und Grenz-
ertragsfunktion

Fall	Veränderungen der Ausbringung	Veränderungen des Faktoreinsatzes	K'	R'
1	+	+	-	+
2	+	-	-	-
3	+	const.	-	const.
4	const.	-	const.	-
5	-	-	+	-

Quelle: Eigene Darstellung nach PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S.54f sowie OTT, A. [Technischer Fortschritt], S. 306f.

Grundsätzlich ist bei dieser Klassifikation die Nebenbedingung zu beachten, dass die Gesamtkosten einer gegebenen Produktionsmenge gesenkt werden, so dass der diskontierte Wert des maximalen Gewinns in t_{+1} größer ist als der maximale Gewinn vor Einführung des technischen Fortschritts in t . Entsprechend muss für den Fall 1 gewährleistet sein, dass der Effekt der Ausbringungsvergrößerung stärker ist als der Effekt des zusätzlichen Faktoreinsatzes sowie im Fall 5 die Faktorerparnis die Verminderung der Ausbringungsmenge übersteigt.

Die Ermittlung der einzelnen Arten des technischen Fortschritts zeigt, dass Fortschritte nicht nur mit einer Erhöhung der Ausbringung, bezogen auf einen oder mehrere fixe Produktionsfaktoren, verbunden sein müssen, sondern auch zu einer Einschränkung der Erzeugung führen können. Maßgeblich hierfür ist die Veränderung der Grenzproduktivität in Relation zur ursprünglichen Faktoreinsatzmenge.

Die Bewertung des Klassifikationsansatzes nach LANGE führt dazu, dass die von OTT als möglich erachteten Kombinationen aus der Veränderung der Grenzkosten-

⁹⁷ Vgl.: OTT, A. [Technischer Fortschritt], S. 306f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

und Grenzertragsfunktion dem in dieser Arbeit verwendeten Begriff des technischen Fortschritts nicht entsprechen.⁹⁸ So ist es unter der Annahme gegebener Faktorpreise nicht nachvollziehbar, dass sowohl Grenzkosten als auch Grenzertrag des variablen Faktors gleichzeitig sinken. Vielmehr ist ein reziprokes Verhalten der beiden Quotienten zu unterstellen.

Nach PROSI kann die Kombination der Klassifikationen LANGES jedoch eventuell aufrecht erhalten werden, wenn die Faktormengenbeanspruchung auf den fixen Produktionsfaktor bezogen wird. Folglich würde die Änderung des Grenzertrages des fixen Faktors der Klassifizierung der Wirkung des technischen Fortschritts zugrundegelegt und die Ausbringungsveränderung auf den variablen Produktionsfaktor bezogen.⁹⁹ Dies würde jedoch eine Abkehr von der Klassifikation LANGES nach den absoluten Änderungen der Grenzproduktivitätsfunktion und der Grenzkostenfunktion bedeuten, wobei dann die Grenzproduktivität des fixen Faktors mit derjenigen des variablen Faktors verbunden würde.

Klassifikation nach OTT

In der Kritik an der Grenzproduktivitätstheorie unterstreicht OTT in seiner Klassifikation des technischen Fortschritts die Möglichkeit der Limitationalität von zwei oder mehreren Produktionsfaktoren „nicht nur als [einen unwahrscheinlichen] Grenzfall.“¹⁰⁰ In der Untersuchung der Wirkung des technischen Fortschritts geht er von einer linearen Kostenfunktion aus und unterstellt die Annahmen, dass in der Periode_{t+1} die Ausbringungsmenge y unverändert bleibt und der Kapitalkostensatz q als auch der Lohnkostensatz l konstant sind. Diese Bedingungen dienen dazu, den technischen Fortschritt zu isolieren und durch Faktorpreissenkungen ausgelöste Substitutionsvorgänge zu verhindern. Ist dabei das Minimalkostenprinzip gemäß Gleichung (2.14) erfüllt

$$(2.14) \quad \frac{dK}{dA} = \frac{l}{q},$$

⁹⁸ Im Gegensatz zu LANGES Begriff der Innovation sei hier auf die oben gegebene Begriffsbestimmung verwiesen, wonach der technische Fortschritt insgesamt in einer Zunahme der globalen Faktorproduktivität zum Ausdruck kommt und als eine Verschiebung der Produktionsfunktion nach oben definiert ist. Vgl.: Kapitel 2.2.

⁹⁹ Vgl.: PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S.55.

¹⁰⁰ Vgl.: OTT, A. [Technischer Fortschritt], S. 307.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

und betragen die Gesamtkosten K_y

$$(2.15) \quad K_y = qK + lA,$$

so ist ceteris paribus eine Reduktion der Gesamtkosten nur durch eine Änderung des mengenmäßigen Einsatzes der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital möglich. Das totale Differential der Gesamtkostengleichung ermöglicht eine Aussage zur Entwicklung der Grenzkosten:

$$(2.16) \quad dK_y = qdK + ldA.$$

Der Ausdruck in Gleichung (2.16) zeigt auf, dass bei technischem Fortschritt - unter der Bedingung einer konstanten Produktionsmenge - dK_y negativ sein muss und somit die Gesamtkosten sinken. Aus der Kombination der möglichen Veränderungen von dK und dA ergeben sich unter den vorangestellten Bedingungen und der in Übersicht 2 aufgeführten Nebenbedingungen für die Fälle einer positiven Veränderung der Grenzkosten fünf mögliche Kombinationen. Um auch Aussagen über die Fälle machen zu können, in denen beide Faktoren eingespart werden, drückt OTT die Auswirkungen, die von den Veränderungen der Faktoreinsatzmengen auf die Kapitalintensität (K/A) ausgehen auf der Basis der mengenmäßigen Veränderung des Einsatzes von Arbeit und Kapital, somit der entsprechenden Veränderung des Kapital- ($\bar{k}$; K/Y) und Arbeitskoeffizienten ($\bar{a}$, A/Y), aus.¹⁰¹

Unter der Bedingung $dK_y < 0$ ergeben sich somit die sieben in Übersicht 2 zusammengestellten Fälle.

¹⁰¹ Vgl.: OTT, A. [Technischer Fortschritt], S. 308f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Übersicht 2: Klassifikation des technischen Fortschritts nach möglichen Faktormengenänderungen

Fall	$\frac{K}{A}$	$\frac{K}{P}$	$\frac{A}{P}$	Veränderungen von K Nebenbedingungen und A	Art des technischen Fortschritts
1.	+	+	-	$dK +, dA -$ $dK \cdot q < dA$	arbeitssparend bei Kapitalmehr- aufwand
2.	+	const.	-	$dK = 0, dA -$	arbeitssparend bei konstantem Kapitalaufwand
3.	+	-	-	$dK -, dA -$	überwiegend arbeitssparend
4.	const.	-	-	$dK -, dA -$	neutral
5.	-	-		$dK -, dA -$	überwiegend kapitalsparend
6.	-	-	const.	$dK -, dA = 0$	kapitalsparend bei konstantem Arbeitsaufwand
7.	-	-	+	$dK -, dA +$ $dK \cdot q > dA$	kapitalsparend bei Arbeitsmehr- aufwand

Quelle: Eigene Darstellung nach OTT, A. [Technischer Fortschritt], S. 308f.

Bei der Charakterisierung der einzelnen Fälle ist darauf hinzuweisen, dass die Kennzeichnung „arbeitssparend“ lediglich bedeutet, dass das Schwergewicht der Effekte auf der Arbeitersparnis liegt. Der Kapitalbedarf kann dabei ebenfalls absolut abnehmen (Fall 3), jedoch im Vergleich zum Arbeitsbedarf relativ schwächer.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Die dargestellten Wirkungen des technischen Fortschritts können präzisiert werden, indem die Veränderungen der partiellen Grenzproduktivitäten analysiert und deren Bezug hinsichtlich der Verschiebung der Faktorproportionen dargelegt wird.

Bei den beiden Produktionsfaktoren Arbeit (A) und Kapital (K) resultiert aus der Bewegung auf einer Isoquante keine Änderung der totalen Grenzproduktivität, da

$$(2.17) \quad \frac{\partial y}{\partial K} dK = - \frac{\partial y}{\partial A} dA$$

gilt.

Aus diesem Ausdruck ergibt sich jedoch, dass eine Verringerung des Faktors Arbeit zwangsläufig durch einen (relativen) Mehreinsatz des Faktors Kapital ausgeglichen werden muss. Ist im Falle einer Einsparung eines Faktors allerdings ein zusätzlicher Verbrauch des anderen Faktors erforderlich, so kann die für das Auftreten des technischen Fortschritts notwendige Bedingung der Senkung der Gesamtkosten nur erfüllt werden, wenn - wie in den Fällen 1 und 7 als Nebenbedingung aufgeführt - die wegfallenden Kosten größer sind als die zusätzlich entstehenden.

Unter der Voraussetzung der Minimalkostenkombination ergibt sich bei einem durch technischen Fortschritt bedingten Überwechsel von der Isoquante_t zur Isoquante_{t+1} im Falle einer konstanten Faktormengenrelation eine Parallelverschiebung der Produktionsisoquante hin zum Ursprung - was einer Bewegung des Schnittpunktes der Kostengerade mit der Isoquante auf einem Ursprungsstrahl entspricht. Da in diesem Fall die Grenzproduktivitäten auf beiden Isoquanten gleich sind, ist die Senkung der realen Kosten ausschließlich auf den Fortschrittseffekt zurückzuführen. Ein Substitutionseffekt bleibt hingegen aus, da sich die ursprüngliche und neue Funktion nur hinsichtlich des Niveauparameters unterscheiden.¹⁰²

Liegt eine durch technischen Fortschritt hervorgerufene Verschiebung der partiellen Grenzproduktivitäten der beiden Faktoren auf der neuen Isoquante_{t+1} bei der ursprünglichen Faktorproportion vor, so muss zur Erfüllung der Minimalkostenkombination, unter der Bedingung konstanter Faktorpreisrelationen, eine Verschiebung des Faktoreinsatzverhältnisses stattfinden. Hieraus ist zu schließen, dass jeder technische Fortschritt, der eine relativ unterschiedliche Veränderung der partiellen

¹⁰² Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 46-51.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Grenzproduktivitäten bewirkt, mit einer Faktorsubstitution verbunden ist. Die Kostensenkung setzt sich somit aus Fortschritts- und Substitutionseffekt zusammen.¹⁰³

Bei der Analyse der von OTT vorgelegten Klassifikation zeigt sich, dass diese unabhängig davon ist, ob eine weitergehende Substituierbarkeit der Faktoren Arbeit und Kapital oder Limitationalität angenommen wird. Auch zeigt sich, dass der technische Fortschritt in den Fällen 2 bis 6 unabhängig von der Faktorpreisrelation l/q immer realisiert wird. Dagegen ist die Einführung des technischen Fortschritts in den Fällen 1 und 7 von der jeweiligen Faktorpreisrelation abhängig, was in der Formulierung der jeweiligen Nebenbedingungen zum Ausdruck kommt. Demnach ist es in den beiden letztgenannten Fällen möglich, dass bei einer Faktorpreisrelation das neue Produktionsverfahren einen Rückschritt, bei einer anderen Faktorpreisrelation hingegen einen technischen Fortschritt darstellen kann.

Wird die Frage nach der praktischen Relevanz der von OTT klassifizierten Fälle des technischen Fortschritts gestellt, so ist es naheliegend, den unter 1 beschriebenen Fall des arbeitssparenden technischen Fortschritts bei Kapitalmehraufwand (steigende Kapitalintensität bei steigendem durchschnittlichen Kapital- und sinkendem durchschnittlichen Arbeitskoeffizienten) als die typischste Form des technischen Fortschritts zu bezeichnen. Den kapitalsparenden technischen Fortschritt bei Arbeitsmehraufwand (Fall 7) bezeichnet OTT selbst, unter dem Eindruck der Resultate der industriellen Revolution, als den Fall mit der geringsten empirischen Relevanz.¹⁰⁴

2.3.3.2 Der technische Fortschritt im linear-limitationalen Modell

Um die bei fortschreitender Technik auftretende mangelnde Flexibilität des Produktionsapparates besser als in der neoklassischen Lehre abbilden zu können, wurde, ausgehend von der empirischen Analyse der Produktionsprozesse, die vor allem von LEONTIEF weitgehend nachgewiesene Konstanz der Inputfaktoren in der Gestalt der linear-limitationalen Funktionszusammenhänge in die Produktionstheorie über-

¹⁰³ In Anlehnung der hier formulierten Bedingungen wäre hinsichtlich der realökonomischen Gegebenheiten auch eine Verschiebung der Faktorpreisrelationen denkbar. Dieser Möglichkeit kommt im wirtschaftlichen Geschehen insofern Bedeutung zu, als dass eine eindeutige Trennung zwischen technischem Fortschritt und ökonomischen Anpassungsvorgängen praktisch kaum durchführbar ist. Vgl.: PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S.46.

¹⁰⁴ OTT kommt in seiner Analyse zu dem Schluss, dass die in Übersicht 2 aufgelistete Reihenfolge der einzelnen Fortschrittstypen die empirische Bedeutung der einzelnen Fälle für eine Industriegesellschaft widerspiegelt. Vgl.: OTT, A. [Technischer Fortschritt], S. 310f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

tragen.¹⁰⁵

Im Modellgebäude der Produktionstheorie ist die allgemeine linear-limitationale Produktionsfunktion in die Gruppe der linear-homogenen Funktionen mit dem Homogenitätsgrad $r=1$ einzuordnen. Im Gegensatz zur linear-homogenen substitutionalen Produktionsfunktion liegt hier jedoch nur ein einziges effizientes Produktionsverfahren zur Generierung einer bestimmten Ausbringungsmenge y eines Gutes Y vor.¹⁰⁶

Für das Verhältnis der Inputfaktoren x_1 und x_2 sowie deren konstanten Produktions- bzw. Inputkoeffizienten a_1 und a_2 (allgemeine Schreibweise x_i , a_i mit $i = 1, \dots, n$) bei einem einfachen, linear-limitationalen Produktionsprozess gilt:¹⁰⁷

$$(2.18) \quad x_{1j} = a_{1j} y ; x_{2j} = a_{2j} y$$

mit $0 < a_1, a_2$

x_{ij} = Einsatzmenge des i -ten Faktors am j -ten Aggregat zur Produktion von y ($j = 1, \dots, m$)

a_{ij} = Produktionskoeffizient für den i -ten Faktor am j -ten Aggregat

mithin

$$(2.19) \quad x_1 = \frac{a_1}{a_2} \cdot x_2$$

Ein derartiger linear-limitationaler Produktionsprozess weist folgende Eigenschaften auf:

- (1) das Verhältnis der Faktoreinsatzmenge ist konstant;
- (2) der Produktionskoeffizient a_{ij} ist konstant;
- (3) die Leistungsabgabe der Produktionsfaktoren ist konstant - dies gilt insbesondere für die eingesetzten Betriebsmittel;
- (4) die Qualität der Produktionsfaktoren ist konstant.

¹⁰⁵ Aufgrund der von Wassily LEONTIEF nachgewiesenen Konstanz der Inputfaktoren wird die linear-limitationale Produktionsfunktion auch als LEONTIEF-Produktionsfunktion bezeichnet. Vgl.: LEONTIEF, W. W. [American Economy] sowie [Input-Output].

¹⁰⁶ Vgl.: SCHUMANN, J.; MEYER, U.; STRÖBELE, W. [Grundzüge], S. 129.

¹⁰⁷ Vgl.: SCHUMANN, J.; MEYER, U.; STRÖBELE, W. [Grundzüge], S. 130.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Die vollständige Komplementarität der Faktoren, die durch das jeweilige technische Verfahren bedingt ist, hat zur Folge, dass bei einer Erhöhung des Prozessniveaus die Produktionsverfahren in gleichbleibender Mengenrelation vermehrt werden müssen. Die einzelnen Prozesse unterscheiden sich dabei zum einen durch das Inputverhältnis der Faktoren - im Falle einer verbundenen Produktion zudem durch das Verhältnis der Produkte - sowie zum anderen in ihrer Qualität. Da bei Vorliegen einer linear-limitationalen Produktionsfunktion nur ein einziges Produktionsverfahren - genau eine (x_1, x_2) -Kombination - ein effizientes Erreichen eines Produktionsergebnisses y erlaubt, tritt daher an die Stelle der Faktorsubstitution die Prozesssubstitution. Bzgl. des Produktionsprozesses bedeutet dies, dass durch den Faktor, für den das Verhältnis von Inputmenge und Inputkoeffizient minimal ist, das Produktionsniveau entsprechend dem in Gleichung (2.20) dargestellten Optimierungsansatz begrenzt wird (Engpassfaktor).¹⁰⁸

$$(2.20) \quad y = \min \left(\frac{x_1}{a_1}, \frac{x_2}{a_2} \right)$$

Die Erhöhung der Outputmenge ist nicht mehr möglich, wenn sich die Einsatzmenge des knappen Faktors nicht mehr erhöhen lässt. Im Produktionsprozess liegen somit positive Grenzerträge vor, die sich aber bei Erreichen der Grenze des Engpassfaktors auf Null reduzieren. Wirkt beispielsweise der Faktor X_2 aufgrund einer im Produktionsprozess unveränderlichen Menge restriktiv, wird die maximale Ausbringungsmenge durch den Quotienten x_2/a_2 bestimmt. Als Gesamtgewinn G_s ergibt sich somit:

$$(2.21) \quad G_s = p_y - p_{x_1} a_1 \cdot \frac{x_2}{a_2}$$

Die von der Produktion unabhängigen Kosten für den Faktor X_2 können bei dieser Betrachtung unberücksichtigt bleiben. Wird zudem in einem weiteren Schritt aus Gleichung (2.21) das Totaldifferenzial nach a_1 und a_2 gebildet, lässt sich erkennen, wie sich Ausbringungsmenge, Faktorbeanspruchung und Gesamtgewinn ändern, wenn in Folge technischer Veränderungen die Inputkoeffizienten variiert und damit andere Produktionsprozesse realisiert werden. So resultiert aus der Senkung des Produktionskoeffizienten, dessen Einsatzfaktor restriktiv wirkt, eine Erhöhung der

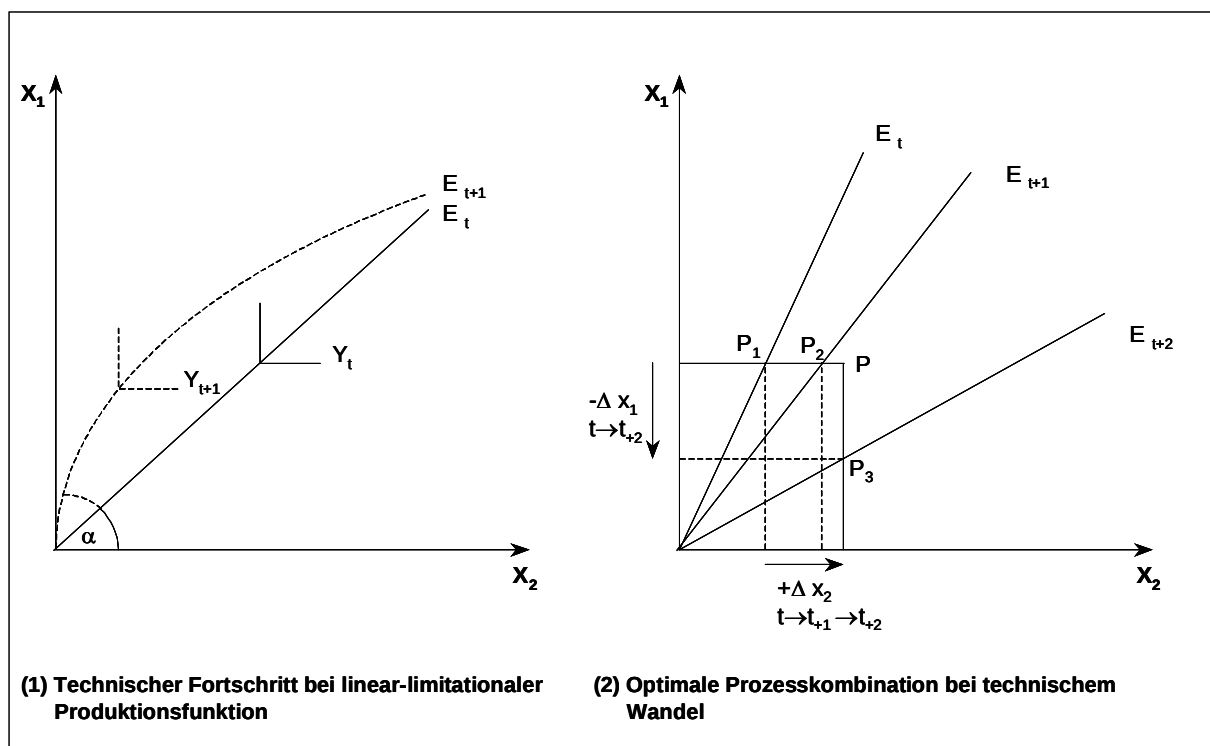
¹⁰⁸ Vgl.: DRZENIEK, M.; NEIMKE, M. [Wassily LEONTIEF], S. 690.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Ausbringungsmenge und eine Steigerung der Einsatzmenge des verfügbaren, variablen Faktors. Ändern sich die Inputkoeffizienten in der Weise, dass quantitative Einsparungen eines oder mehrerer Produktionsfaktoren ohne gleichzeitigen Mehrverbrauch eines oder mehrerer anderer Faktoren ermöglicht werden, so ist c. p. eine Erhöhung des Gewinns zu erwarten.

Charakteristisch für die linear-limitationale oder LEONTIEF-Produktionsfunktion mit den beiden Faktoren X_1 und X_2 sind die rechtwinklig verlaufenden Isoquanten, in deren Schnittpunkt die einzig effiziente Inputkombination zur Erzeugung einer bestimmten Outputmenge liegt (Abbildung 5(1)).

Abbildung 5: Linear-limitationale Produktionsfunktion



Quelle: Eigene Darstellung und Bearbeitung nach PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S. 71 sowie WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 62.

Vergleichbar zur Klassifizierung des technischen Fortschritts nach der Verschiebung des Substitutionsbereiches bei begrenzt substituierbaren Produktionsfaktoren kann neues technisches Wissen aufgrund der Verschiebung des Expansionspfades E bzw. der Veränderung des Winkels α klassifiziert werden. Liegt neutraler technischer Fortschritt vor, bleibt α und dementsprechend das effiziente Mengenverhältnis (z. B. die Kapitalintensität) unverändert. Bei einer steigenden Kapitalin-

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

tensität wirkt der technische Fortschritt arbeitssparend und kapitalbeanspruchend. Analog verhalten sich die Einsatzverhältnisse bei sinkender Kapitalintensität. Eine Kombination von neutralem und nicht-neutralem technischem Fortschritt ist bei linear-limitationalen Faktoren nicht möglich, da dies eine Krümmung des Expansionspfades voraussetzen würde. Das Faktormengenverhältnis in den effizienten Punkten würde sich, mit der Variation des Produktionsniveaus, wie in der Funktion E_{t+1} in Abbildung 5(1) dargestellt, ändern.¹⁰⁹

Die Wirkung des technischen Fortschritts bei zwei fixen Inputfaktoren bedarf einer gesonderten Betrachtung und ist für die Perioden T_t bis T_{t+2} in Abbildung 5(2) dargestellt. Das optimale Prozessniveau wird in T_t für die Faktorkombination (x_1, x_2) im Punkt P_1 bei einer vollständigen Ausnutzung des Engpassfaktors X_1 erreicht. Aufgrund des technischen Fortschritts kann in der Periode $t+1$ der Prozess E_{t+1} realisiert werden, wodurch aufgrund des höheren Gesamtgewinns der Prozess E_t durch den Prozess E_{t+1} vollständig ersetzt wird. Steht im weiteren zeitlichen Verlauf die Produktionsfunktion E_{t+2} zur Verfügung, tritt ein Optimierungsproblem zur optimalen Ausnutzung der Faktorkapazitäten x_1 und x_2 zutage. Wird ökonomisch rationales Verhalten vorausgesetzt, wird hier nun der Prozess E_t nicht wie in der Vorperiode vollständig durch den neuen Prozess E_{t+2} , sondern durch eine Kombination der alten und neuen Technik ersetzt. Zwar wäre grundsätzlich eine Linearkombination von E_{t+1} und E_{t+2} zur vollständigen Ausschöpfung der Faktormengen x_1 und x_2 denkbar. Dieses Vorgehen wäre jedoch nicht effizient, da es immer eine Kombination aus bisheriger und neuer Technik gibt, die den gleichen Gewinn bei einer geringeren Beanspruchung der Produktionsfaktoren ermöglicht.¹¹⁰

Ein wesentliches Problem der Leontief-Produktionsfunktion ist in der Limitationalität der Produktionsfaktoren zu sehen, da die Konstanz der Inputkoeffizienten oftmals zu restriktiv angesehen wird.¹¹¹

In der Gesamtbetrachtung der Überlegungen zur linear-limitationalen Produktionstheorie zeigt sich jedoch, dass diese im Vergleich zur neoklassischen Produktionstheorie, die bei einer fortschreitenden Technik eine mangelnde Flexibilität des Produktionsprozesses aufweist, dem Auftreten des technischen Fortschritts besser

¹⁰⁹ Vgl.: PROSI, G. [Technischer Fortschritt], S. 70f.

¹¹⁰ Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 62f.

¹¹¹ Vgl.: DRZENIEK, M.; NEIMKE, M. [Wassily LEONTIEF], S. 620.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

angepasst ist. So findet zum einen die mangelnde Substitutionalität der Produktionsverfahren aufgrund einer entsprechenden Formulierung der Produktionsverfahren und deren Nebenbedingungen stärkere modelltheoretische Beachtung. Zum anderen wird der in der Praxis meist vorherrschenden, kurzfristigen Beschränkung der Produktionsressourcen besser Rechnung getragen.

2.4 Systematisierung des technischen Fortschritts nach dessen Entstehung

2.4.1 Zur Systematisierung des technischen Fortschritts

In der in Kapitel 2.2 vorangestellten Betrachtung zur Abgrenzung technischer Fortschritte im Hinblick auf veränderte Faktorproduktivitäten bleibt offen, wodurch die Verschiebung der Produktionsfunktion herbeigeführt wird. Um jedoch den technischen Fortschritt einer Erklärung seiner Existenz zu unterziehen sowie die Ausrichtung des Phänomens zu analysieren, bedarf es einer eingehenden Betrachtung der Ursachen für dessen Auftreten.¹¹² Die in der Literatur verwendete Trennung der Erklärungshypothesen in einen autonom auftretenden und einen induzierten technischen Fortschritt erfolgt dabei, wie in Abbildung 6 dargestellt, entlang zweier unterschiedlicher Systematisierungsmöglichkeiten.¹¹³

Stellt man auf Faktorpreisänderungen als Ursache technischen Wandels ab, so wird unter Bezugnahme auf Hicks die Einführung des technischen Fortschritts durch eine Veränderung der Faktorpreisrelationen induziert.¹¹⁴ Dementsprechend ist die Einführung neuer Prozesse oder Güter, die unabhängig von Faktorpreisänderungen erfolgt, als autonomer technischer Fortschritt zu bezeichnen.

Ein zweiter Ansatz zur Systematisierung des technischen Fortschritts basiert auf

¹¹² Dabei werden hier Ansätze ausgeklammert und an anderer Stelle der vorliegenden Arbeit thematisch eingeordnet, die nicht auf die Ursache des technischen Fortschritts abstellen und somit keine Systematisierung im Sinne der hier geführten Argumentation darstellen. So sei hier exemplarisch auf die bei IHLAU und RALL verwendete Klassifikation verwiesen, die in dem Begriffspaar „potentieller / realisierter“ technischer Fortschritt zum Ausdruck kommt. Dieser Klassifikationsansatz sollte nicht in dem hier verwendeten Sinn, sondern vielmehr zur Beschreibung der Entstehung von *Innovationen* herangezogen werden. Vgl. hierzu die vielfältigen, bei den genannten Autoren aufgeführten Definitionen und Klassifikationen des technischen Fortschritts: IHLAU, T.; RALL, L. [Messung], S. 20-48 sowie Kapitel 2.5.2.

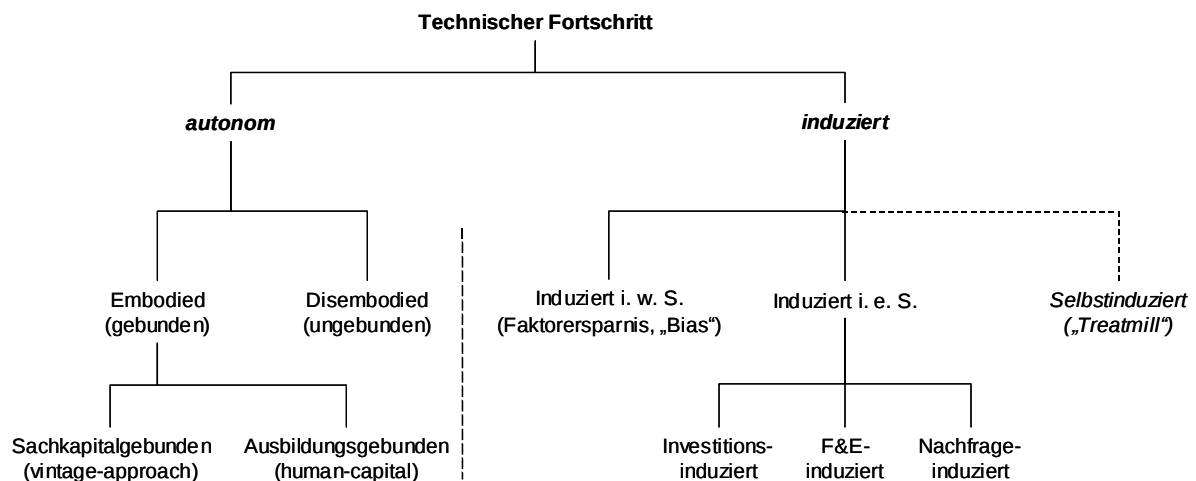
¹¹³ Vgl.: IHLAU, T.; RALL, L. [Messung], S. 24f.

¹¹⁴ „The real reason for the predominance of labour-saving inventions is surley that which was hinted at in our discussion of substitution. A change in the relative prices of the factors of production is itself a spur to invention, and to invention of a particular kind-directed to economizing the use of a factor which has become relatively expansive“. Hicks, J. R. [Theory], S. 124f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

der unterschiedlichen Integration des Phänomens in wachstumstheoretische Modelle. Im Rahmen dieser Modelle wird der technische Fortschritt, entsprechend der ökonomischen Interpretation der Entstehung der jeweiligen Neuerung, in einen exogen gegebenen, somit autonomen technischen Fortschritt, sowie in einen system-endogenen, induzierten technischen Fortschritt eingeteilt.¹¹⁵ Wird der „autonome technische Fortschritt“ in seiner Bedeutung als unabhängig von ökonomischen Variablen verstanden, so ist der „induzierte technische Fortschritt“ als abhängig von ökonomischen Größen zu interpretieren. Dementsprechend ist im modelltheoretischen Rahmen des autonomen technischen Fortschritts - im Gegensatz zum Ansatz des induzierten technischen Fortschritts - der Stand des technischen Wissens zu einem bestimmten Zeitpunkt von jedem planenden Wirtschaftssubjekt als Datum und somit als nicht zu beeinflussende Größe aufzufassen.¹¹⁶

Abbildung 6: Systematisierung des technischen Fortschritts



Quelle: Eigene Darstellung und Ergänzung nach WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 569f sowie WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 23-28.

¹¹⁵ Hierbei ist jedoch in Bezug auf die Darstellung in Abbildung 6 darauf hinzuweisen, dass es sich bei den von SOLOW geprägten Begriffen „embodied“ und „disembodied“ nicht in erster Linie um eine Klassifizierung nach den Bestimmungsgründen und Ursachen des technischen Fortschritts generell handelt, sondern damit die Transformation des technischen Wissens in den Produktionsprozess bezeichnet wird.

¹¹⁶ Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 23-28.

2.4.2 Der autonome technische Fortschritt

2.4.2.1 Einordnung in die ökonomische Theorie

Um die Wirkung technischer Fortschritte in frühen wachstumstheoretischen Modellen zu beschreiben, wurde der technische Fortschritt von verschiedenen Autoren¹¹⁷ als exogene Größe aufgefasst, d. h., seine Entwicklung wurde im Zeitablauf als gegeben akzeptiert. Diese Vorgehensweise findet darin ihre Begründung, dass in den Industrieländern zur Mitte des 20. Jahrhunderts ein wirtschaftliches Wachstum beobachtet wurde, dessen Ausprägung und Entstehung sich nicht mehr alleine durch die reine Kapitalakkumulation erklären ließ.¹¹⁸ So wurde in den empirischen Arbeiten der fünfziger und sechziger Jahre der technische Fortschritt neben Kapital und Arbeit als zum wirtschaftlichen Wachstum entscheidender „dritter Faktor“ herausgestellt.¹¹⁹

In dieser modelltheoretischen Betrachtung wird der technische Fortschritt als unabhängig von ökonomischen Variablen verstanden. Der Stand des technischen Wissens zu einem gegebenen Zeitpunkt ist demnach als Datum aufzufassen, das neben anderen Daten von jedem planenden Wirtschaftssubjekt zu berücksichtigen ist. Der technische Fortschritt ist dabei dadurch gekennzeichnet, dass er als unabhängige („autonome“) Variable in das betrachtete System einfließt.

2.4.2.2 Modelle zum autonomen technischen Fortschritt

a.) SOLOWS kapitalgebundener technischer Fortschritt

Einen wesentlichen Beitrag zur Isolation des technischen Fortschritts stammt von SOLOW (1957),¹²⁰ indem er den Output Y_t als Funktion von Kapital K_t und Arbeit A_t sowie einer Variablen T_t darstellt, wodurch der technische Fortschritt Berücksichtigung findet. Hierbei bleibt die Grenzrate der Substitution unbeeinflusst:

$$(2.22) \quad Y_t = T_t f(K_t, A_t)$$

Durch die Analyse von Zeitreihen zur Arbeitsproduktivität, zur Kapitalintensität der

¹¹⁷ Hier sind vor allem JOHN RICHARD HICKS, ROY FORBES HARROD und ROBERT MERTON SOLOW zu nennen, deren Klassifikationskonzepte in Kapitel 2.3.2 näher vorgestellt werden.

¹¹⁸ Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 249.

¹¹⁹ Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 18.

¹²⁰ Vgl.: SOLOW, R. M. [Technical change].

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Arbeit sowie zur Produktionselastizität des Kapitals lässt sich der technische Fortschritt somit als Restgröße ermitteln.¹²¹ Hierbei ist der technische Fortschritt T lediglich von der Zeit t abhängig. Die Wirkung des technischen Fortschritts kann dabei in seiner Wirkung als mengenmäßige Faktorvermehrung, d. h. als faktorvervielfachend (factor-augmenting) definiert werden. Entsprechend der beiden Faktoren Arbeit und Kapital in Gleichung (2.22) können, mit T als allgemeinem Fortschritts-term, drei Fälle des faktorvervielfachenden Fortschritts voneinander unterschieden werden.¹²²

1. Vervielfachung beider Faktoren [$Y_t = T_t f(K_t, A_t)$]
2. ausschließlich arbeitsvervielfachend [$K_t = \text{const.}; Y_t = f(K_t, T_t A_t)$]
3. ausschließlich kapitalvervielfachend [$A_t = \text{const.}; Y_t = f(T_t K_t, A_t)$].

Die Betrachtung der drei aufgeführten Fälle zeigt im Ergebnis eine Äquivalenz zu den Neutralitätsimplikationen von HICKS, HARROD und SOLOW.¹²³ Da sich die Variablen Y , A und K in ihrer Qualität und Menge nicht verändert haben, liegt der technische Fortschritt hier als organisatorische Verbesserung des Produktionsprozesses vor. Die Produktivitätssteigerung ist somit unabhängig vom Faktoreinsatz und folglich von Investitionen. Dieser von SOLOW als disembodied bezeichnete technische Fortschritt basiert jedoch auf der unrealistischen Annahme, dass der technische Fortschritt sowohl in neuen als auch in alten Kapitalausstattungen gleichermaßen zum Tragen kommt.¹²⁴

In einem Alternativkonzept werden von SOLOW Investitionen unter Berücksichtigung des Kapitalstocks und in Abhängigkeit des Investitionsjahres als Vehikel des technischen Fortschritts angesehen. Diese Modellintegration des technischen Fortschritts wird nach SOLOW als „embodied“ (dt. faktorgebunden)¹²⁵ bezeichnet und

¹²¹ Zur Residualmethode vgl.: BOMBACH, G. [Produktivitätsmessung], S. 42-52 sowie BOMBACH, G.; BLATTNER, N. [Problemstellung], S. 5ff.

¹²² Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 573.

¹²³ Vgl.: Kapitel 2.3.2.

¹²⁴ Vgl.: SOLOW, R. M. [Investment], S. 91.

¹²⁵ Das Begriffspaar „embodied“ und „disembodied technical progress“ wurde im Wesentlichen von SOLOW geprägt und von ihm erstmals verwendet. Im Gegensatz zu früheren Ansätzen von SOLOW, in denen technischer Fortschritt und Investitionen als unabhängig voneinander angesehen wurden und das Kapital als homogener Produktionsfaktor betrachtet wurde, wird hier das inhomogene „Jahrgangskapital“ als Träger des technischen Fortschritts angesehen. Hierzu wie auch zu den folgenden Ausführungen vgl.: SOLOW, R. M. [Investment], S. 84-104.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

kann sowohl die Sachkapitalbindung als auch die Bindung an die Qualität (Ausbildungsstand)¹²⁶ des human capital zum Ausdruck bringen.

Im Embodiment-Konzept wird unterstellt, dass das Sachkapital eines Jahrgangs („vintage“) den jeweiligen Stand des Wissens inkorporiert, an den künftigen technischen Fortschritten jedoch nicht weiter teilnimmt. Das Wirksamwerden von Produktivitätssteigerungen ist hier folglich an den Einsatz verbesserter Produktionsfaktoren gebunden. Der Ansatz beruht auf der Annahme, dass Innovationen nur dann in den Produktionsprozess integriert werden können, wenn eine alte Kapitaleinheit durch eine neue ersetzt wird.¹²⁷ Neben dem Investitionszeitpunkt als Ausdruck der Leistungsfähigkeit der neuen Kapitaleinheit wird in diesem Modell auch die Verbindung des jeweiligen Kapitalgutes mit dem Einsatz des Inputfaktors Arbeit, abhängig vom Investitionszeitpunkt, betrachtet. Die Zeitpunktabhängigkeit der Input-Relation der beiden bestimmenden Faktoren Arbeit und Kapital kann nach SOLOW grundsätzlich in zwei Fällen, dem „putty-putty“-Modell und dem „clay-clay“-Modell, bzgl. der gegenseitigen Substituierbarkeit beschrieben werden. So ist im ersten Fall die Substituierbarkeit von Kapital- und Arbeitseinsatz vor (ex-post) und nach der Konstruktion einer Maschine (ex-ante) möglich. Im zweiten Fall ist der Produktionsprozess sowohl vor als auch nach der Einführung einer Innovation von fixen Faktorproportionen gekennzeichnet.¹²⁸

Im „putty-putty“-Modell ist das Sachkapital beliebig verformbar („malleable“) sowie der Arbeitsbesatz frei wählbar. Demzufolge ist zu jedem beliebigen Zeitpunkt die jeweils herrschende Minimalkostenkombination realisierbar. So kann die Grenzproduktivität der Arbeit im Falle einer steigenden Faktorpreisrelation einem gestiegenen gesamtwirtschaftlichen Lohnniveau fortlaufend angepasst werden.¹²⁹ Entgegen der Annahmen einer konstanten Kapitalintensität und einer unbegrenzten technischen Lebensdauer des Kapitals wird im „clay-clay“-Modell zu jedem Zeitpunkt nur

¹²⁶ Hier ist vor allem auf den Ausbildungsstand (Wissen) des eingesetzten Humankapitals zu verweisen, da durch eine Niveauveränderung eine Veränderung der Qualität des Faktors Arbeit bedingt wird. So stellen etwa BARELL, MASON und O'MAHONY bzgl. technischem Fortschritt und Produktivität fest, „that the knowledge stock is central to the process of growth“. BARELL, R.; MASON, G.; O'MAHONY, M. [Introduction], S. 32.

¹²⁷ IHLAU und RALL weisen darauf hin, dass der technische Fortschritt auch im Falle von Re-Investitionen auftritt, wodurch Brutto-Investitionen in den Vordergrund der Betrachtung rücken. Vgl.: IHLAU, T.; RALL, L. [Messung], S. 27.

¹²⁸ Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 30f.

¹²⁹ Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 578.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

eine einzige Kapitalintensität unterstellt. Aufgrund der ex-ante und ex-post Limitationalität ist hier eine Anpassung der relativen Faktormengen an eine sich verändernde Faktorpreisrelation generell ausgeschlossen.¹³⁰

Beide Modelle verbindet, dass der einheitliche Lohnsatz durch die gesamtwirtschaftliche Grenzproduktivität der Arbeit determiniert ist. Unterschiede treten jedoch in der Betrachtung des Sachkapitals zutage: Während die im „putty-putty“ Modell unterstellte „malleability“ zu einer ständigen Umschichtung der Arbeitskräfte von älteren zu jüngeren Maschinenjahrgängen führt, werden im Falle der ex-ante und ex-post Limitationalität bei steigendem Lohnrend Kapital und Arbeitskräfte gleichzeitig freigesetzt. Das Beschäftigungsgleichgewicht wird durch die Investition in neues Sachkapital wieder hergestellt.¹³¹

Da sowohl die produktionstheoretische Prämisse einer völligen Substitutionalität als auch die einer völligen Limitationalität außerordentlich unrealistisch ist, wird in einem dritten Ansatz, dem „putty-clay“-Modell eine ex-ante Substitutionalität sowie eine ex-post Limitationalität der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital unterstellt. Aufgrund der Annahme, dass hier die Faktorrelation nur zeitlich vor der Einführung des technischen Fortschritts frei gewählt werden kann und nach dem Investitionszeitpunkt ausschließlich eine limitationale Beziehung zwischen den Inputfaktoren besteht, verändert sich die Entscheidungssituation des Unternehmers erheblich. Die Investitionsentscheidung basiert nun auf einer für die Zukunft erwarteten Faktorpreisrelation, wodurch sich eine bedeutende Unsicherheit für den Investor generiert.¹³²

Insgesamt wird im modelltheoretischen Ansatz von SOLOW auch bei der Annahme eines gebundenen technischen Fortschritts dieser als gegeben und somit autonom unterstellt. Zwar wird der technische Fortschritt in der Gestalt neuer Kapitalgüter wirksam, ist jedoch in seiner Höhe nicht von der Höhe der Kapitalbildung abhängig. Da er einzig eine Funktion der Zeit ist, wird auch hier sowohl die Existenz als auch das Wirken des technischen Fortschritts im Wesentlichen auf der Basis der neoklassischen Theorie als externes Element betrachtet.¹³³

¹³⁰ Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 21-24.

¹³¹ Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 578.

¹³² Vgl.: WALTER, H. [Technischer Fortschritt], S. 578f.

¹³³ Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 24f.

b.) Lernprozesse bei ARROW und ROSENBERG

Die neoklassische Theorie, und hier ist die neue Wachstumstheorie mit eingeschlossen, betont die Bedeutung der Verfügbarkeit von Wissen für das wirtschaftliche Wachstum und schreibt dem Humankapital steigende Grenzerträge zu.¹³⁴ Im Gegensatz zum faktorungebundenen Wissen stellt Humankapital dabei an die Arbeitskraft gekoppeltes, faktorgebundenes Wissen dar. Der Modellansatz des „embodied technical progress“ ist daher, neben der Berücksichtigung qualitativer Verbesserungen der Kapitalgüter, um die Inkorporation neuen technischen Wissens im eingesetzten Humankapital zu erweitern (Abbildung 6). Sofern das im Faktor Arbeit akkumulierte Wissen, entsprechend der traditionellen Sichtweise, als immobil betrachtet wird, ist es als privates, vollständig ausschließbares, rivalisierendes Gut charakterisiert. Im Zuge der Überlegungen zur Endogenisierung des technischen Fortschritts gehen neuere Modelle zur Humankapitaltheorie hingegen davon aus, dass dieses Kapital als zunehmend mobil zu betrachten ist, wodurch die Ausschließlichkeits-Bedingung teilweise aufgehoben wird.¹³⁵

Im Verständnis der Wachstums- und Innovationstheorie erfolgt die Neubildung von Humankapital, somit die der Qualität des Faktors Arbeit, durch eine organisierte Aus-, Fort- und Weiterbildung. Die Verbesserung der Qualität der eingesetzten Arbeitskräfte kann dabei zum einen auf ein erweitertes Wissen hinsichtlich der Anwendung der Produktionstechnik und der dispositiven Tätigkeit (Prozessorganisation) beruhen.¹³⁶ Zum anderen ermöglicht ein Erfahrungszuwachs während des Pro-

¹³⁴ ROMER weist auf die zentrale Bedeutung des Faktors Wissen hin. In seinem Modell wirkt die Schaffung von Wissen der Tendenz abnehmender Grenzerträge des Kapitals entgegen. Eine Steigerung des Wissens wird von ihm mit einer Vermehrung des Faktors Arbeit gleichgesetzt. Vgl.: ROMER, M. P. [Long-Run Growth], S. 1002ff.

¹³⁵ Der Wissens- und Wissenschaftsbindung von Innovationsprozessen wurde in jüngster Zeit in der Literatur erhöhte Beachtung beigemessen. Ein Schwerpunkt der Analysen lag dabei auf der (bedingten) Übertragbarkeit des Produktionsfaktors Wissen, somit auf den spezifischen Faktoreigenschaften im Hinblick auf das Verhältnis von privaten und öffentlichen Grenzerträgen (Externalitäten). In diesem Zusammenhang werden von verschiedenen Autoren die Wirkungen von sog. „Spillover“-Effekten für die wirtschaftliche Entwicklung betont. Vgl. u.a.: GÖCKE, M. [Learning-by-doing], S. 10, GRUPP, H. [Messung], S. 305-349, Vgl.: WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 127-137.

LUCAS betont in seinem Modell die Bedeutung des Faktors Wissen, der im Humankapital verkörpert ist und durch Ausbildung erzeugt („produziert“) werden kann. Die Investitionen in das Humankapital stellen in seinem Gleichgewichtsmodell eine zentrale Basis für ein dauerhaftes Wachstum dar, wobei er insbesondere die externen Effekte (etwa durch Mobilität) von individuellen Bildungsinvestitionen herausstellt. Vgl.: LUCAS, R. E. JR. [Economic Development], S. 19-21.

¹³⁶ Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 32.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

duktionsprozesses die Erhöhung des Outputs auch bei gegebenem Kapital. So sind im Zeitablauf zunehmende Anwendungserträge zu beobachten, die sich nicht nur auf den Konsumbereich begrenzen,¹³⁷ sondern auch im Produktionsprozess auftreten. Die steigenden Anwendungserträge sind dabei jedoch weiter zu fassen als die seit langem in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur eingeführten, steigenden Skalenerträge oder Interdependenz-Effekte.¹³⁸

Wirtschaftssubjekte erwerben sich im Laufe einer Tätigkeit Befähigungen, die sich in nachfolgenden Prozessen in Form einer verbesserten Tätigkeits-Ausübung niederschlagen. Diese Erfahrungsakkumulation stellt somit, im Gegensatz zur zielgerichteten Akkumulation von Wissen bzw. Sachkapital, ein nicht geplantes Neben- bzw. Koppelprodukt der eigentlichen Tätigkeit dar.¹³⁹ Die intertemporal positiv wirkenden Lern- und Erfahrungseffekte¹⁴⁰ beziehen sich zunächst lediglich auf die jeweiligen Tätigkeitsfelder eines Individuums. Wird in einem erweiterten Ansatz ein Humankapital-Aggregat betrachtet, so sind auch Erfahrungsübertragungen zwischen einzelnen Erfahrungsträgern, so genannte Erfahrungs-Spillovers möglich.¹⁴¹

Die Diskussion um Lern- und Erfahrungsprozesse im Herstellungs- und Nutzungsprozess von Gütern kann für die hier verfolgte Zielsetzung auf die beiden markanten Modelle von KENNETH J. ARROW (1962)¹⁴² und NATHAN ROSENBERG (1982)¹⁴³ konzentriert werden. So war es vor allem ARROW, der den wirtschaftswissenschaftlichen Blickwinkel hin zu Erfahrungsprozessen öffnete und somit einen wesentlichen Beitrag zur Erklärung von Innovationsprozessen lieferte. Ungeachtet der, auf der Kritik seines Modells begründeten, wiederholt erfolgten Erweiterungen und Modifikationen des Modellansatzes¹⁴⁴ ist es entsprechend der grundlegenden Bedeu-

¹³⁷ Bei bestimmten Produkten nimmt mit zunehmender Anwendung der Nutzen für die Anwender zu. So seien insbesondere „Netzwerk-Externalitäten“ bzw. „Spillover-Effekte“ als Form zunehmender Anwendererträge genannt. Hierauf ist bei der Betrachtung von Diffusionsprozessen noch näher einzugehen.

¹³⁸ Vgl.: ENGLMANN, F. C. [Technischer Fortschritt], S. 151-159.

¹³⁹ Vgl.: ARROW, K. J. [Economic Implications], siehe last chapter, SOLOW, R. M. [Learning], S. 6.

¹⁴⁰ Eine explizite, wie in der Literatur z. T. vorzufindende Trennung zwischen Lernkurven-Modellen (die sich auf die Lohnkosten beziehen) und Erfahrungskosten-Modellen (die sich auf die Stückkosten beziehen) wird hier als nicht relevant angesehen. Insofern werden die beiden Begriffe fortan synonym verwendet. Vgl.: GÖCKE, M. [Learning-by-doing], S. 13.

¹⁴¹ Vgl.: GÖCKE, M. [Learning-by-doing], S. 10.

¹⁴² Vgl.: ARROW, K. J. [Economic Implications].

¹⁴³ Vgl.: Für die nachführenden Ausführungen vgl.: ROSENBERG, N. [Inside].

¹⁴⁴ So sind neben den beiden hier betrachteten Ansätzen noch weitere Modelle von Erfahrungs- und Lernmodellen beschrieben, auf die lediglich verwiesen soll. Vgl.: GÖCKE, M. [Learning-by-

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

tung des Lernkurvenkonzeptes für die Weiterentwicklung der ökonomischen Innovationstheorie, insbesondere der Diffusionstheorie sowie der neuen (neoklassischen) Wachstumstheorie, notwendig, ARROWS Konzept in Verbindung mit ROSENBERGS Modell in dem hier notwendigen Rahmen zu diskutieren.¹⁴⁵

Vor allem ARROW analysierte, unter der Annahme eines Jahrgangskapitalmodells, inwieweit Lernprozesse während des Produktionsprozesses neues technisches Wissen hervorbringen können.¹⁴⁶ Getätigten Bruttoinvestitionen fallen hier zwei ökonomische Effekte zu: neben der gegenwärtigen Produktionskapazität erhöht sich gleichzeitig auch die zukünftige Produktivität aufgrund neuen technologischen Wissens. Das von ARROW eingeführte Modell einer Lernfunktion bezieht sich insofern auf die Akkumulation des Sachkapitals und stellt somit eine Parallele zu SOLOWS Modell des Jahrgangskapitals dar. In dem als „Learning-by-doing“-Modell bezeichneten Ansatz wird unterstellt, dass mit steigendem Produktionsumfang die Produktivität des Faktors Arbeit zunimmt und folglich die Grenzkosten sinken, wodurch sich steigende, dynamische Skalenerträge einstellen.¹⁴⁷ Werden steigende dynamische Skaleneffekte als Lerneffekte aufgefasst, die im Verlauf der Periode t entstehen, sinken die Durchschnittskosten der Produktion in der Periode $t+1$, wenn in der Periode t eine Mengenausdehnung stattfindet. Hier entsteht die Verbindung zum organisatorisch-technischen Fortschritt, da nicht-kapitalgebundene technische Fortschritte erst dann realisiert werden können, wenn die in der Periode $t+1$ eingesetzten Arbeitskräfte über ein vergleichbar höheres Wissen verfügen, als die der Periode t .¹⁴⁸ In ARROWS Konzept beeinflussen sich Produktionsprozess und Wissensstand gegenseitig, wodurch die Produktionsfunktion, im abgegrenzten Rahmen der angewendeten Technik, eine Änderung ihrer selbst generiert.

Mit dem von ARROW eingeführten Modell des Learning-by-doing korrespondiert der maßgeblich von ROSENBERG geprägte Ansatz des Learning-by-using: Wo Learning-by-doing mit Bezug auf ein Gut auf Lernprozesse abstellt, die bei dessen Herstellung auftreten, bezieht sich der „Learning-by-using“-Ansatz auf Erfahrungen, die bei

doing], S. 10-13, ROMER, P. M. [Long-Run Growth], S. 1002-1008 sowie SOLOW, R. M. [Learning], S. 1-21.

¹⁴⁵ Zur Diskussion der neuen (neoklassischen) Wachstumstheorie Kapitel 2.5.2.

¹⁴⁶ Vgl.: ARROW, K. J. [Economic Implications], S. 155-173.

¹⁴⁷ Vgl.: GRUPP, H. [Messung], S. 268.

¹⁴⁸ Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 32f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

dessen Nutzung zu verzeichnen sind.¹⁴⁹ „Learning-by-using“-Effekte sind vor allem bei langlebigen Kapitalgütern zu verzeichnen. ROSENBERG zeigt am Beispiel der Luftfahrtindustrie, dass sich aufgrund der hohen Komplexität von Flugzeugen, das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten bei Inbetriebnahme nicht exakt vorherbestimmen lässt. Eine optimale Nutzungs- und Wartungsstrategie ergibt sich sukzessive aufgrund der Lernprozesse während der Nutzung des Gutes mit dem Ziel, den mit dem Kapitalgut zu erzielenden (abdiskontierten) Nettoertragsstrom zu maximieren. Die hohe Komplexität von Kapitalgütern bedingt, dass sich die Leistungsabgabe eines Kapitalgutes im Zeitablauf und somit unter Berücksichtigung des Verlaufs der jeweiligen Lern- bzw. Erfahrungskurve steigern lässt. Diese Erkenntnis ist für Investoren um so bedeutender, je mehr Hochtechnologie-Produkte den Kapitalgütermarkt dominieren.¹⁵⁰ Das Lernen selbst kann dabei in Abhängigkeit davon, ob das betreffende Kapitalgut eine Modifikation erfährt, verkörpert bzw. unverkörpert sein. Im Falle der verkörperten Lernprozesse basiert der „Learning-by-using“-Ansatz auf der Annahme, dass Innovationen bei ihrer Einführung zumeist nicht ausgereift sind, sodass unterstellt werden kann, dass alle am Produktionsprozess Beteiligten nicht an ihrer langfristigen Effizienzgrenze operieren. Um diese Effizienzgrenze zu erreichen, treten Interaktionen zwischen Anbietern (Produzenten) und Nachfragern (Nutzern) auf, die im Zuge von Lernprozessen zu Modifikationen führen. Im Falle von Produktinnovationen kommen diese Veränderungen in Form von verbesserten Eigenschaften des Endprodukts, im Falle von Prozessinnovationen in verbesserten Herstellungsprozessen zum Ausdruck.¹⁵¹

Als Grundaussage des Erfahrungskurvenkonzeptes kann festgehalten werden, dass sich die Faktorproduktivität eines Gutes mit der zeitlichen aggregierten Produktionsmenge erhöht, die aus der gewonnenen Erfahrung resultiert. Die Erfahrungskurve ist dabei produktspezifisch ausgerichtet, was sich bei unterschiedlichen Produkten in unterschiedlichen Lernraten niederschlägt. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist jedoch zu beachten, dass gleichzeitig ein Teil des Wissens verfällt, da es zum einen aufgrund neuer Prozesse und Produkte obsolet geworden ist oder als

¹⁴⁹ Für die nachfolgenden Ausführungen vgl.: ROSENBERG, N. [Inside], siehe chapter six.

¹⁵⁰ Vgl.: ENGLMANN, F. C. [Technischer Fortschritt], S. 157f.

¹⁵¹ Vgl.: ENGLMANN, F. C. [Technischer Fortschritt], S. 152f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

faktorgebundenen Humankapital mit seinem Träger untergeht.¹⁵²

Insgesamt bleibt das Konzept der Erfahrungskurve primär objektbezogen.¹⁵³ So wird begründet, dass nur neue Produkte und Prozesse neues Lernpotential eröffnen. Hierzu ist jedoch die Investition eines neuen Kapitalstocks erforderlich, was sich in den entsprechenden Modellen darin niederschlägt, dass mit dem Aufbau des Kapitalstocks gleichzeitig die Akkumulation des Erfahrungswertes modelliert wird. Lerneffekte sind demnach an Investitionen gebunden. In Bezug auf die Ausgestaltung der Lernkurve bedeutet dies jedoch, dass der Erfahrungs-Grenzwert bei unveränderter Kapitalausstattung gegen Null tendiert, technische Fortschritte dieser Art mithin nicht mehr auftreten können.¹⁵⁴

Da sich der technische Fortschritt hier lediglich in objektabhängigen Lernfunktionen widerspiegelt, bleibt das Auftreten des Phänomens im Wesentlichen weiterhin ungeklärt.¹⁵⁵ Diese Kritik an den Konzepten der Erfahrungskurven wird dadurch unterstrichen, dass der technische Fortschritt nur als Nebenprodukt neuer Produkte und Prozesse angesehen wird. Die Erklärung des eigentlichen innovatorischen Handelns bleibt außer Betracht. Auch fußen die dargestellten Ansätze auf der exogen vorgegebenen Wachstumsrate des Faktors Arbeit und des technischen Fortschritts.¹⁵⁶

Der zentralen Kritik der fixen Beziehung von Arbeit und Kapital sowie der extern gegebenen Rate des technischen Wandels in ARROWS Ansatz konnten sich aber auch andere modellhafte Erfassungen der empirisch zu beobachtenden Erfahrungs- und Lerneffekte, so von DAVID LEVHARI (1966)¹⁵⁷ oder EYTAN SHESHINSKI (1967),¹⁵⁸ nicht entziehen. Neuere Ansätze, die von ROMER als „composite“ bezeichnete gemeinsame Größe von Kapital- und Erfahrungsakkumulation aufzulösen, zeigen sich in dessen eigenem Modell und münden in den Ansätzen der neu-

¹⁵² Vgl.: GÖCKE, M. [Learning-by-doing], S. 13.

¹⁵³ Vgl.: GRUPP, H. [Messung], S. 318f.

¹⁵⁴ Diese Feststellung lässt sich auf alle faktorgebundenen technischen Fortschritte übertragen. Vgl.: WILLER, H. [Technischer Fortschritt], S. 33.

¹⁵⁵ Zur Diskussion von ARROWS Modell des Learning-by-doing vgl.: SOLOW, R. M. [Learning], insbesondere S. 1-41.

¹⁵⁶ Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 32f.

¹⁵⁷ Vgl.: LEVHARI, D. [Extensions], S. 117-131 sowie LEVHARI, D. [Further Implications], S. 31-38.

¹⁵⁸ Vgl.: SHESHINSKI, E. [Accumulation], S. 31-51,

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

en (neoklassischen) Wachstumstheorie.¹⁵⁹ Auch erscheinen Überlegungen, die Erfahrungsakkumulation mittels eines von der Sachkapitalakkumulation unabhängigen „Learning-by-producing“-Prozesses darzustellen, interessant, sehen den Erfahrungsaufbau jedoch weiterhin als Koppelprodukt der Produktionstätigkeit.¹⁶⁰

Zusammenfassend bleibt für die Modelle des autonomen technischen Fortschritts festzuhalten, dass die Modellannahme der Exogenisierung des technischen Fortschritts umso umstrittener und unbefriedigender ist, je mehr der technische Fortschritt als Hauptfaktor der wirtschaftlichen Entwicklung erkannt wird. Jedoch liefern die Modelle wertvolle Beiträge zur Erklärung von Diffusionsprozessen technischer Fortschritte.¹⁶¹

2.4.3 Der induzierte technische Fortschritt

2.4.3.1 Einordnung in die ökonomische Theorie

Ausgehend von der unzulänglichen Annahme, den technischen Fortschritt als unabhängige, exogene Variable zu definieren, wird im Rahmen des Konzepts des induzierten technischen Fortschritts eine Endogenisierung dieser Variablen mit dem Ziel vorgenommen, Hypothesen für die Existenz und die Ausrichtung des Phänomens zu einem Modellansatz zu verdichten.

Wesentlicher Ausgangspunkt der Überlegungen zur Analyse von Ursache und Wirkungspfad des technischen Fortschritts stellen die Arbeiten von Hicks zum induzierten technischen Fortschritt dar. Er führte erstmals die Theorie der induzierten technischen Fortschritte im Zusammenhang mit der Betrachtung der Verbreitung faktorsparender, in erster Linie arbeitssparender, technischer Fortschritte in die wirtschaftswissenschaftliche Literatur ein. Da hier nicht nur die Ursache der Existenz des Fortschritts, sondern auch die Gründe für seine faktorsparende Wirkung (den sog. „Bias“) - unabhängig von den Entstehungsgründen des technischen Fortschritts - mit in die Betrachtungen einbezogen werden, ist dieser Ansatz als „induzierter technischer Fortschritt i. w. S.“ zu bezeichnen. Demgegenüber werden im „induzierten technischen Fortschritt i. e. S.“ Erklärungshypothesen zur Analyse der

¹⁵⁹ Vgl.: ROMER, P. M. [Long-Run Growth], S. 118ff sowie Kapitel 2.5.2.

¹⁶⁰ Hier sei beispielhaft auf den Modellansatz von GÖCKE verwiesen. GÖCKE, M. [Learning-by-doing]. Eine weitere Verfolgung dieser Ansätze wird hier jedoch als nicht relevant angesehen.

¹⁶¹ Vgl.: ENGLMANN, F. C. [Technischer Fortschritt], S. 160-205.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

verursachenden Kräfte des technischen Fortschritts zusammengefasst.

Ein weiterer Erklärungsansatz zum Auftreten des technischen Fortschritts stellt das Modell von W. W. COCHRANE dar, der am Beispiel des Agrarsektors der Vereinigten Staaten unter bestimmten Bedingungen eine indirekte Selbstinduktion des technischen Fortschritts nachgewiesen hat.¹⁶²

2.4.3.2 Faktorpreis-induzierter technischer Fortschritt

In Anlehnung an HICKS kann angenommen werden, dass die Einführung technischer Fortschritte durch eine Änderung der Faktorpreisrelationen verursacht wird.¹⁶³ Ausgangspunkt der Theorie ist die Feststellung, dass eine aufgrund eines gestiegenen Produktionsumfanges erhöhte Faktornachfrage mit einer differentiellen Elastizität der Faktornachfrage verbunden ist. Die unterschiedliche Veränderung der Faktorpreisentlohnung, somit die überproportionale Verteuerung des verstärkt nachgefragten Produktionsfaktors, führt in Folge zu einer Verzerrung der Einkommensverteilung entlang der verschiedenen Faktoreigner. Um den Input des knappen Faktors relativ zu den anderen Produktionsfaktoren wieder zu reduzieren, wird gemäß der HICKSCHEN Theorie eine Sequenz technischer Fortschritte ausgelöst. Dabei ist unerheblich, ob im Zuge der Veränderungen des Produktionsprozesses erstmals angewandte Produktionsverfahren und -faktoren neu entwickelt wurden oder ob sie einen Rückgriff auf bereits bekannte, jedoch bislang unwirtschaftliche Verfahren darstellen.

HICKS gründet seine Überlegungen zum Faktorpreis-induzierten technischen Fortschritt auf der für Europa und die USA empirisch nachgewiesenen Entwicklung eines absolut sowie in Relation zur Kapitalentlohnung steigenden Lohnrends. Die Verteuerung des Faktors Arbeit führt unter der Zugrundelegung der Gewinnmaximierungshypothese entsprechend den Annahmen seines Modells zur Einführung arbeitsplatzsparender technischer Fortschritte.¹⁶⁴ Das Modell basiert somit auf der zentralen Annahme der negativen Korrelation zwischen dem Faktorpreis- und dem Einsatzverhältnis der Faktoren Arbeit und Kapital. Aufgrund dieser unterstellten ne-

¹⁶² Vgl.: COCHRANE, W. W. [Fram Prices], S. 94-107.

¹⁶³ Vgl.: HICKS, J. R. [Theory], S. 124f.

¹⁶⁴ „The general tendency to a more rapid increase of capital than labour which has marked European history during the last few centuries has naturally provided a stimulus to labour-saving invention.“ HICKS, J. R. [Theory], S. 124f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

gativen Korrelation soll die Analyse der Entwicklung der Inputpreise und die Veränderungen der Inputmengen erklärbar sein. Die Veränderung der Preisrelationen der Produktionsfaktoren wird dabei als das Ergebnis gesamtwirtschaftlicher Anpassungsprozesse betrachtet.

Die Kritik an dem Ansatz des lohninduzierten technischen Fortschritts nach Hicks ist vielfältig und bezieht sich im Wesentlichen auf die unzureichende mikroökonomische Fundierung bzgl. des Optimierungsverhaltens von innovierenden Unternehmen. Weitere Kritikpunkte stellen auf die fehlende Berücksichtigung der die Adoption technischer Fortschritte bedingenden Faktoren, insbesondere Schulung und Beratung, Eigenschaften des Betriebs und des Produktionsprozesses, die Situation auf den Faktor- und Produktmärkten, soziökonomische Einordnungsmerkmale der Unternehmer sowie deren Risikoverhalten, ab. Darüber hinaus wird von verschiedenen Autoren, insbesondere SALTER, deutlich darauf verwiesen, dass nicht ein einzelner Produktionsfaktor isoliert von allen anderen der im Produktionsprozess eingesetzten Faktoren betrachtet werden kann. Vielmehr ist es das Bestreben eines Unternehmers, die Gesamtkosten insgesamt zu minimieren. Dabei ist es jedoch zunächst unerheblich, in welcher Weise sich Faktorpreis und -einsatzmenge der einzelnen Faktoren verändern. Diese Kritik steht dabei jedoch nicht im Widerspruch zur Forderung nach der (langfristigen) Entlohnung der Faktoren entsprechend ihrer Grenzproduktivität. So ist die Forderung nach einem zwingend arbeitssparenden Bias entsprechend des HICKSCHEN Modells nicht immer aufrecht zu erhalten, da sich aufgrund der variierenden Qualität des Faktors Arbeit auch dessen Grenzproduktivität, vor allem im Rahmen eines qualitativ und quantitativ modifizierten Produktionsprozesses, verändert.

Ein weiterer zentraler Kritikpunkt ist die angreifbare Trennung zwischen den Effekten der Faktorsubstitution und den Effekten des technischen Fortschritts. Zwar führt eine exogen auftretende Verteuerung des Faktors Arbeit, wie oben bereits dargelegt, c. p. zu einer Substitution von Arbeit durch Kapital. Offen bleibt dabei, ob mit diesem Prozess auch tatsächlich effizienteres Kapital - als notwendiges Merkmal des technischen Fortschritts - zum Einsatz gelangt. Dieser Vorgang ist dabei wiederum als grundsätzlich unabhängig von der Lohnsteigerung anzusehen.

In der Weiterführung des HICKSCHEN Ansatzes des lohninduzierten, arbeitssparenden technischen Fortschritts versuchte insbesondere KENNEDY einen funktionalen

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Zusammenhang zwischen der Wachstumsrate des arbeitsvervielfachenden und des kapitalvervielfachenden technischen Fortschritts nachzuweisen. Der arbeitsparende Bias des technischen Fortschritts wird im Rahmen dieses Modells darauf begründet, dass innerhalb der gesamten Volkswirtschaft die Lohnquote die Kapitalquote übersteigt. Ausdruck finden die Überlegungen KENNEDYS in der Konstatierung einer Fortschrittmöglichkeitenfunktion (innovation possibility function, IPF), in welcher die faktorspezifischen Wachstumsraten für Arbeit und Kapital π , μ in dem funktionalen Zusammenhang $\mu = f(\pi)$ zueinander stehen und sich somit in Form einer Transformationskurve gegenseitig bedingen.

Die derartige Berücksichtigung der Faktoreffizienz steigernden Wirkung des technischen Fortschritts in der Produktionsfunktion bedingt zum einen, dass die Möglichkeit zur Erreichung einer zunehmenden Arbeitseffizienz mit einem steigenden Verzicht auf eine zusätzliche Kapitaleffizienz erkaufte werden muss (bzw. umgekehrt). Zum anderen wird unterstellt, dass für beide Effizienzzraten eine Obergrenze existiert. Die maximale Effizienzsteigerung ist in dem Punkt erreicht, in dem die Grenzrate der Substitution von Kapitaleffizienzrate und Arbeitseffizienzrate dem Verhältnis von Lohn- und Gewinnquote entspricht. Unter der Annahme der neoklassischen Prämisse eines störungsfreien gleichgewichtigen Wachstums muss entsprechend der IPF gefolgert werden, dass der technische Fortschritt langfristig HARROD-neutral und somit arbeitsvervielfachend ist. In der Konsequenz bedeutet dies jedoch, dass das Ergebnis der IPF deren Prämissen entspricht, wodurch der Ansatz von KENNEDY jeglicher empirischer Basis enthoben ist.

Für die Landwirtschaft wurde die Hypothese des durch relative Faktorknappheiten induzierten technischen Fortschritts durch HAYAMI und RUTTAN (1971) weiterentwickelt und für verschiedene Länder und Perioden getestet. Das Modell von HAYAMI und RUTTAN beruht auf den Überlegungen von AHMAD zu einer sogenannten „historischen Innovationsmöglichkeitenkurve“. Unter der Annahme, dass Unternehmen die laufenden Wachstumsraten des technischen Fortschritts maximieren, beschreibt AHMAD eine optimale Konstellation der Wachstumsraten entlang einer invention possibility curve (Innovationsmöglichkeitenkurve, IPC) als umschließende Funktion aller möglichen Isoquanten, die ein Unternehmen mit den zur Verfügung stehenden

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Mitteln zur Innovation erreichen kann¹⁶⁵ Unter der Annahme, dass die alleinige Fokussierung auf das Verhalten von Unternehmen der Erklärung zur Entstehung des technischen Fortschritts nicht gerecht werde, entwickelten HAYAMI und RUTTAN eine eigene IPC, in welcher die Innovationsimpulse des öffentlichen Sektors explizit mit berücksichtigt werden. Grundlage der Überlegungen von HAYAMI und RUTTAN ist die Annahme, dass sich technischer Fortschritt entlang eines Pfads von Preissignalen bewegt. Dabei wird zum einen unterstellt, dass die Marktpreise die tatsächlichen Veränderungen von Angebot und Nachfrage sowohl auf den Produkt- als auch auf den Faktormärkten widerspiegeln. Zum anderen wird ein System von effektiven Interaktionen zwischen Landwirten, staatlichen Forschungseinrichtungen und privaten Betriebsmittel- und Investitionsgüterherstellern angenommen. Aufgrund der Erkenntnis, dass technische Fortschritte nicht in der Landwirtschaft direkt sondern in den ihr vorgelagerten Sektoren entstehen vertreten HAYAMI und RUTTAN daher die Hypothese, dass Landwirte im Falle einer Veränderung der relativen Faktorpreise nach neuen Techniken suchen und infolgedessen technische Fortschritt in den vorgelagerten Sektoren induzieren.¹⁶⁶

Das Konzept von HAYAMI und RUTTAN ist in mehreren Punkten umstritten.¹⁶⁷ Insbesondere besteht das Problem, dass der faktorsparende technische Fortschritt – und somit die Substitution entlang einer Innovationsmöglichkeitskurve - von der Substitution entlang einer Isoquante empirisch nicht eindeutig zu trennen. Auch wurde, vor allem in der ersten Reaktion auf das Modell, eine nicht ausreichende mikroökonomische Fundierung der Aussagen sowie eine Überbetonung der Marktpreise zu Lasten der Beachtung anderer Faktoren, so etwa von Marktinstitutionen, beanstandet.¹⁶⁸ In einer späteren Arbeiten von HAYAMI und RUTTAN¹⁶⁹ sowie in der von

¹⁶⁵ Die Grundannahme der Überlegung besteht darin, dass rational agierende Unternehmen unter Wettbewerbsbedingungen (finanzielle) Mittel ansammeln bzw. nutzen, um technische Fortschritte zu generieren die es ermöglichen, einen im Zeitverlauf sich verteuernenden Produktionsfaktor durch einen günstigeren zu ersetzen. Vgl.: H & R, S. 86.

¹⁶⁶ Druck.

¹⁶⁷ Vgl.: Runge C. F. [Induced Agricultural Innovation], S. 249-258, Machado, F. S. [Induced Innovation Hypothesis], S. 349-360, Rosenberg, N. [Inducement Mechanisms], S. 1-24 sowie in Reaktion auf Rosenberg Hayami, Y.; Ruttan, V. W. [A Comment], S. 352-355.

¹⁶⁸ Auch wird angeführt, dass in empirischen Test kein eindeutiger Beweis für die Gültigkeit der Hypothese des induzierten technischen gelungen sei. Vgl.: Thirtle, C. G.; Schimmelpfennig, D. E.; Townsend, R. F. [Induced Innovation], S. 598-614.

¹⁶⁹ Vgl.: Hayami, Y.; Ruttan, V. W. [Agricultural Development], Ruttan, V. W. [Induced Innovation], S. 41-59

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

BINSWANGER und RUTTAN¹⁷⁰ entwickelten IPC finden diese Punkte jedoch Berücksichtigung, wobei der Hauptkritikpunkt nicht vollständig aufgelöst werden konnte.¹⁷¹

Insgesamt kann dem Modell von HAYAMI und RUTTAN - mit den angeführten Einschränkungen - zur Erklärung der langfristigen Tendenz von technischen Fortschritten in der Landwirtschaft gefolgt werden. So betonen HENRICHSMEYER und WITZKE im Rahmen ihrer Bewertung des Modells, dass sich dieser Erklärungsansatz aus Sicht der Agrarökonomie als „(...) sehr fruchtbar erwiesen hat, um (...) die langfristigen Tendenzen agrarsektoraler Entwicklung (...) erklären zu können“.¹⁷²

2.4.3.3 Investitionsinduzierter technischer Fortschritt

Ausgangspunkt des Modells des investitionsinduzierten technischen Fortschritts ist ähnlich dem Embodiment-Konzepts SOLOWS¹⁷³ die Annahme, dass technische Neuerungen lediglich aufgrund von Bruttoinvestitionen zum Tragen kommen. Gleichzeitig wird im Zusammenhang mit der Bildung neuen Sachkapitals die These vertreten, dass aufgrund von Lerneffekten die neuen Produktionsfaktoren produktiver zu handhaben sind sowie zukünftig weiter verbesserte Kapitalgüter hergestellt werden können.

Somit stellen die Überlegungen zum investitionsinduzierten technischen Fortschritt eine Alternative zu den Modellen mit einer exogen vorgegebenen Wachstumsrate, wie in den oben beschriebenen Modellen von Solow, Arrow und ROSENBERG, dar. Insbesondere ist hier der Modellansatz von KALDOR zu nennen, der in der Kritik der neoklassischen Wachstumstheorie die Beziehung zwischen der Grenzproduktivität und der Grenzrate der Substitution einerseits und dem Verhältnis von Lohn und Gewinn andererseits aufgibt. In der Erkenntnis, dass durch neues Sachkapital nicht nur eine exogene Technologie erstmalig anwendbar wird, sondern darüber hinaus auch neues Wissen produziert wird, ersetzt KALDOR die neoklassische Produktionsfunktion durch eine technische Fortschrittsfunktion (TFF). Die grundlegende Aussa-

¹⁷⁰ Zur Diskussion der Funktion von Binswanger vgl.: Kislev, Y.; Peterson, W. [Induced Innovations], S. 562-565.

¹⁷¹ Ein weiterer, hier nicht im Fokus stehender Kritikpunkt zielt auf die nicht ausreichende Bewertung der dualistischen Betriebsstruktur in weniger entwickelten Volkswirtschaften im Hinblick auf die Verbreitung von technischen Fortschritten ab. Vgl.: Grabowski, R. [Induced Innovation Model], S. 723-734 sowie in Reaktion Hayami, Y. [Induced Innovation], S. 169-176.

¹⁷² HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1], S. 247.

¹⁷³ Vgl.: Kapitel 2.4.2.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

ge der in Gleichung (2.23) dargestellten Funktion ist der Zusammenhang zwischen der Veränderung der Bruttoinvestition je Arbeitskraft und der Arbeitsproduktivität der neuen Produktionsanlagen.

$$(2.23) \quad \frac{\dot{q}_t}{q_t} = f\left(\frac{\dot{i}_t}{i_t}\right)$$

mit $f(0) > 0$; $f' > 0$; $f'' < 0$

Die TFF basiert auf einer neoklassischen Produktionsfunktion, die für die Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital und technischer Fortschritt sinkende Grenzerträge aufweist. Im Gegensatz zum autonomen technischen Fortschritt liegt aber der technische Fortschritt bei KALDOR als endogene Größe vor. Dies bedeutet, dass KALDOR technischen Fortschritt durch die Hypothese erklärt, dass mit der Kapitalintensivierung der Produktion weiterer technischer Fortschritt induziert wird.

Im Gegensatz zur neoklassischen Produktionstheorie unterstellt KALDOR in seinem Modell, dass die Summe aus der direkten Produktionselastizität des Kapitals und der Rate des durch die zunehmende Kapitalintensivierung induzierten technischen Fortschritts im Zeitverlauf abnimmt.

KALDOR gründet diese Annahmen auf zwei Überlegungen:

1. Entsprechend empirischer Befunde ist zu unterstellen, dass die Lerneffekte, die durch den Umgang mit neuen Maschinen erzielt werden, zunächst stark sind und dann immer mehr abnehmen.
2. Die Unternehmer orientieren sich bei ihrer Investitionsentscheidung an der erwarteten Gewinnentwicklung (insbesondere an der erwarteten Nachfrageentwicklung und der erwarteten Änderung der Verzinsung des eingesetzten Kapitals), wobei die Entscheidungen der Unternehmer von deren Einstellung gegenüber dem Risiko abhängig sind.¹⁷⁴

Grundsätzlich kann dabei angenommen werden, dass rational handelnde Unternehmer nur bis zu dem Punkt Investitionen vornehmen, an dem die Summe der zu erwartenden Gewinne nach Abzug der vollen Amortisation

¹⁷⁴ So ist unter dem Eindruck eines stetigen technischen Fortschritts grundsätzlich festzustellen, dass die Erwartungen für die fernere Zukunft mit einem weitaus höheren Risiko behaftet sind als jene, welche die nahe Zukunft betreffen.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

eine Profitrate ergibt, die mindestens der allgemeinen volkswirtschaftlichen Profitrate neuer Investitionen entspricht.

Im Falle der durch Nachfrageänderungen induzierten Investitionen nimmt KALDOR dabei an, dass die erwartete Nachfrageänderung stets der Wachstumsrate des Sozialprodukts der Vorperiode entspricht. Ebenso wird für die Veränderungsraten der Kapitalproduktivität als auch für die Entlohnung des Faktors Arbeit die Orientierung der Unternehmer an der Vorperiode unterstellt.¹⁷⁵ Im Zusammenspiel mit der Modellannahme, dass die Anlagen betrieblich nur so lange genutzt werden, bis die Gewinne Null erreichen, ergibt sich der in Gleichung (2.24) dargestellte Gleichgewichtsterm.

$$(2.24) \quad \frac{\dot{q}}{q} = \frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{i}}{i} = \frac{\dot{l}}{l}$$

Das Modell KALDORS weist aufgrund der Kombination aus Vergangenheitsorientierung und Profiterwartung eine stabile gleichgewichtige Wachstumsrate auf, wobei aufgrund des sinkenden Grenzertrages des Sachkapitals die Kapitalproduktivität im Gleichgewichtszustand einen konstanten Wert einnimmt. Dies bedeutet, dass sich die Wachstumsraten der Arbeits- und Kapitalproduktivität auf gleicher Höhe annähern. Dabei wird die Wachstumsrate der Produktivität der Anlagegüter einzig durch die Funktion des technischen Fortschritts bestimmt und entspricht der Wachstumsrate der Anlageinvestitionen je Arbeitskraft. Als Folge des Gleichgewichtszustandes indes schrumpfen die Investitionen in Abhängigkeit von der Profiterwartung auf Null.

Mithilfe der TFF gelingt es KALDOR, sowohl den positiven Einfluss eines autonomen als auch induzierten technischen Fortschritts auf die Höhe der gleichgewichtigen Wachstumsrate der Pro-Kopf-Produktion abzubilden. Der technische Fortschritt wird dabei durch die Annahme endogenisiert, dass mit der Kapitalintensivierung der Produktion weiterer technischer Fortschritt induziert wird.

Als wesentlich ist die Einbeziehung des Entwicklungsstandes einer Volkswirtschaft in das Modell zu bewerten. Anders als in den Modellen des autonomen technischen

¹⁷⁵ Bzgl. der Kapitalproduktivität stützt KALDOR sich auf die Modellannahme, wonach ein positiver Zusammenhang zwischen der Profitrate und der Kapitalproduktivität besteht, insbesondere bei einer wie hier unterstellten positiven Gewinnquote.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Fortschritts werden in der TFF die Eigenschaften innerhalb einer Volkswirtschaft berücksichtigt, die einen wesentlichen Einfluss auf die Durchsetzung technischer Fortschritte haben (so z. B. Erfolgsmotivation, Erfindergeist, Adoptionsbereitschaft von Neuerungen). Seinen Niederschlag findet dieser sog. „technical dynamism“ in der Lage und Gestalt der technischen Fortschrittsfunktion.

Die Analyse des Modellansatzes von KALDOR zeigt, dass durch die periodenübergreifende Betrachtung sowie durch die Berücksichtigung von Faktoren, welche die Wachstumsrate des technischen Fortschritts in einer Volkswirtschaft bedingen, die Überlegungen an Realitätsnähe gewonnen haben. Dennoch kann mithilfe des Modells die Ursache des technischen Fortschritts nicht erklärt werden.

2.5 Modelle zur Erklärung von Innovationen in der ökonomischen Theorie

2.5.1 Stand der ökonomischen Innovationstheorie

Der Aufgabe, technische Fortschritte bzw. Innovationen in ihrer Entstehung als Ergebnis individuellen Handels zu erfassen sowie die Folgen von Innovationsentscheidungen zu beschreiben, sieht sich die Innovationstheorie gegenübergestellt.

Als Ausgangspunkt der Überlegungen zur Innovationstheorie bedarf es jedoch einer klar umschriebenen Definition des Begriffs der „Innovation“. Der Begriff der Innovation ist bereits seit langem vor allem in die Wirtschaftswissenschaften eingeführt. Die Bedeutung des „Innovationsphänomens“ gilt seit den Arbeiten SCHUMPETERS als offengelegt.¹⁷⁶ Dennoch liegt in der Literatur kein geschlossener, allgemeingültiger Innovationsansatz vor.¹⁷⁷ Zwar sind allen Definitionsversuchen die Merkmale Neuheit oder Erneuerung eines Objekts oder einer sozialen Handlungsweise sowie der Prozess der Veränderung gemein.¹⁷⁸ Die Vielzahl der begriff-

¹⁷⁶ Vgl.: SCHUMPETER, J.A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung] sowie SCHUMPETER, J. A. [Konjunkturzyklen].

¹⁷⁷ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 22 sowie CRATZIUS, M. [Innovationsprozesse], S. 3.

STAUDT betont die dem Zeitverlauf unterliegende Rezeption des Begriffs in der Betriebswirtschaftslehre. Vgl.: STAUDT, E. [Management], S. 13.

REICHERT betont, dass das „Innovationsphänomen zu den schlecht-definierten und schlecht-strukturierten Problembereichen“ gehört. REICHERT, L. [Evolution], S. 19.

Auch DAMANPOUR und GOPALAKRISHNAN weisen in ihrer Literaturanalyse zur Innovationsübernahme von Organisationen auf diese Tatsache hin, indem sie die Vielfältigkeit der dargestellten Forschungsansätze betonen. Vgl.: DAMANPOUR, F.; GOPALAKRISHNAN, S. [Organisational adaptation], S. 57.

¹⁷⁸ Vgl.: HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 3-7.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

lichen Abgrenzungsprobleme und die heterogene Begriffsauffassung sind jedoch als Indiz für das Fehlen eines einheitlichen Bezugsrahmens anzusehen, wodurch in Folge dessen das Fehlen einer einheitlichen Innovationstheorie ersichtlich wird.¹⁷⁹

Die Dimension dieser Problematik zeigt sich insbesondere darin, dass die Tradition der Innovationsforschung im Wesentlichen durch acht Wissenschaftsdisziplinen gekennzeichnet ist, welche das Innovationsphänomen lange Zeit eigenständig und somit parallel erforscht haben.¹⁸⁰ Erst die Erkenntnis, dass der Innovationsprozess und speziell hier die Ausbreitung von Neuerungen im Ganzen nur durch interdisziplinäre Forschungsansätze der verschiedenen Wissenschaftstraditionen der Innovationsforschung erklärt werden kann, ließ die Vertreter der Anthropologie, der frühen soziologischen Diffusionsforschung, der Geographie, der Agrarsoziologie, der Erziehungswissenschaften, der medizinischen Soziologie, der Kommunikationswissenschaften, der Konsumgüterforschung sowie der ökonomischen, industriellen Innovationsforschung¹⁸¹ in einen verstärkten Austausch der Ergebnisse und Methoden treten, worauf im Zuge der Betrachtung des Diffusionsprozesses noch näher einzugehen ist.

Seit den 50er Jahren richtet die wirtschaftswissenschaftliche Forschung ihr Interesse in verstärktem Maße auf Erscheinungen, die sich unter dem Innovationsphänomen allgemein subsumieren lassen. Im Wesentlichen können dabei drei Ansätze zur Definition des Innovationsbegriffs voneinander unterschieden werden. So wird der Begriff „Innovation“ oftmals mit dem Innovationsprozess als solchem, folglich in der praktischen Wahrnehmung mit Technologieförderung gleichgesetzt. In einem anderen Definitionsansatz wird der Begriff aus volks- und betriebswirtschaftlicher Sicht bestimmt. Gesamtwirtschaftlich betrachtet ist eine Innovation die gene-

¹⁷⁹ Vgl.: REICHERT, L. [Evolution], S. 16.

¹⁸⁰ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 32.

¹⁸¹ Vgl.: KATZ, E.; LEVIN, M. L.; HAMILTON, H. [Diffusion], S. 237-240, ROTH, G. [Diffusion], S. 30-37. Zur Geschichte der Diffusionsforschung vgl. ROGERS, E. M. [Diffusion]. Der Schwerpunkt der Innovations- bzw. Diffusionsforschung liegt zweifelsohne im Bereich der Agrarsoziologie. Diese entstand im Wesentlichen aufgrund der Bestrebungen des US-amerikanischen landwirtschaftlichen Beratungsdienstes und hat ihre Anfänge in den 1920er und 1930er Jahren. Einen entscheidenden Impuls erhielt die Diffusionsforschung durch die 1943 von RYAN und GROSS vorgestellte Untersuchung zur Diffusion von Hybrid-Mais in zwei Gemeinden Iowas. ROGERS berichtet 1995, dass ca. 22% der von ihm ausgewerteten 3.890 innovationswissenschaftlichen Arbeiten der agrarsoziologischen Wissenschaftstradition zuzurechnen sind. Vor allem seit 1960 war ein starker Anstieg von Publikationen mit innovationswissenschaftlichem Bezug zu verzeichnen (bis ca. 1975). Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 41-54 sowie RYAN, B.; GROSS, N. C. [Hybrid Seed Corn], S. 15-24 und HOGG, D. [Technological Change], S. 145-174.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

rell erste kommerzielle Anwendung einer (technischen) Entwicklung (Invention).¹⁸² Aus einzelwirtschaftlicher Sicht kann der Definition von ROGERS bzw. ROGERS und SHOEMAKER gefolgt werden, die besagt, dass dann eine Idee, ein Verfahren oder ein Gegenstand als Innovation aufgefasst werden kann, wenn sie von einem Individuum als neu wahrgenommen wird.¹⁸³ Im weiteren Verlauf der Arbeit soll dieser Definition gefolgt werden, wobei auf den Innovationsprozess noch näher einzugehen ist.

Analog zum Begriff der Innovation ist auch der Begriff der Innovationsökonomik bislang uneinheitlich abgegrenzt.¹⁸⁴ Als eine treffende Umschreibung des Begriffs kann hier der Definition von Gerybadze gefolgt werden, wonach die ökonomische Theorie der Innovation – entsprechend seines Verständnisses von Innovationen – „(...) als eine Studie der Allokation knapper Ressourcen unter Bedingungen, unter denen sich entweder die Methoden der Allokation (in technischer und organisatorischer Hinsicht), die Ressourcen oder die Bedürfnisse ändern“ aufgefasst werden kann.¹⁸⁵ Die ökonomische Innovationstheorie hat demnach sowohl die Aufgabe, die Existenz, Eindeutigkeit und Stabilität eines Marktgleichgewichts als auch den Pfad der Anpassung an dieses Gleichgewicht zu untersuchen. Die mikroökonomisch ausgerichtete Theorie hat ferner zum Gegenstand aufzuzeigen, wie sich Änderungen der Marktfaktoren (insb. Bedürfnisse, Stand der Technik, Ressourcenausstattung und –verteilung) auf die Preise, auf die Qualität und Quantität der Produkte und auf die Wahl der Produktionsmethoden auswirkt.

Die Konzentration der mikroökonomischen Theorie auf die Analyse von Gleichgewichtszuständen bei einer gleichzeitigen Vernachlässigung der Prozesse zur Erreichung dieser Gleichgewichtszustände ist ein wesentlicher Grund dafür, dass eine konsistente innovationsökonomische Theorie sich bislang nur in Ansätzen entwickeln konnte. Eine weitere Unzulänglichkeit vieler mikroökonomisch ausgerichteter innovationstheoretischer Arbeiten ist die Behandlung der Marktfaktoren als „Daten“ des Wirtschaftsprozesses. Jedoch ändern sich die Marktfaktoren in der Realität

¹⁸² Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 23.

¹⁸³ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 11 und ROGERS, E. M.; SHOEMAKER, F. F. [Communication], S. 19.

¹⁸⁴ Ein Überblick zu diesem Thema findet sich bei Freeman. Vgl.: Freeman, C. [Industrial Innovation].

¹⁸⁵ Vgl.: Gerybadze A. [Innovation], S. 35.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

fortlaufend sowohl endogen als auch exogen, sodass einmal angestrebte Gleichgewichte stets durch neue ersetzt werden. Der Wettbewerbsprozess ruft dabei gleichzeitig adaptive Kräfte und Veränderungen in der Richtung des Anpassungsprozesses hervor.¹⁸⁶

Darüber hinaus besteht das Problem, dass das traditionelle Modell der rationalen Wahl Innovationsentscheidungen nur unzureichend begründen kann.¹⁸⁷ Um diesem Theoriedefizit zu begegnen, hat sich die ökonomische Wachstumstheorie die Aufgabe gestellt, die Wachstumsfaktoren, somit also die Triebkräfte des Wachstums, zu beschreiben und in ihrer Entstehung und Wirkung zu erklären.¹⁸⁸ Einen zentralen Punkt stellt hier die Frage nach dem Gleichgewicht in der wirtschaftlichen Entwicklung dar. So ist jeder Wachstumsprozess mit strukturellen Veränderungen verbunden, die sich insbesondere im regionalen und sektoralen Strukturwandel sowie in veränderten Anforderungen an die Qualifikation der Arbeitskräfte niederschlagen. Die Realität zeigt, dass nicht alle Mitglieder einer Gesellschaft vom wirtschaftlichen Wachstum profitieren, was einen hemmenden Einfluss auf die Geschwindigkeit des Wachstumsprozesses haben kann.

So haben die Überlegungen von SOLOW zum angestrebten gleichgewichtigen Wachstum dazu geführt, den technischen Fortschritt als unerklärbare Restgröße (Residuum) modellexogen vorzugeben, was jedoch keinen Beitrag zur Beantwortung der Frage nach der Entstehung technischer Fortschritte sowie zu deren individueller Übernahme liefert.¹⁸⁹ Andere mikrobasierte Forschungsansätze versuchen, auf der Grundlage von Kosten-Nutzen-Überlegungen Innovationsentscheidungen zu erklären. Basierend auf einer wahrgenommenen Anpassungsnotwendigkeit wer-

¹⁸⁶ Vgl.: Gerybadze A. [Innovation], S. 35-38.

¹⁸⁷ Vgl.: ERDMANN, G. [Evolutorische Innovationstheorie], S. 1.

¹⁸⁸ Trotz einer beträchtlichen Zahl von Forschungsarbeiten kann Innovationsforschung nach UHLMANN die aufzeigten Aufgaben nicht erfüllen. „Die vordringliche Aufgabe der Innovationsforschung kann [es demnach] zur Zeit nicht sein, durch waghalsige Annahmen und Abstrahierungen von der Realität ein Theoriegebäude zu errichten. Vielmehr ist es zuerst dringend erforderlich, durch eine möglichst umfassende und eingehende Beschreibung konkreter Innovationsprozesse die Grundlagen und Bausteine für eine empirisch gesicherte Innovationstheorie zu schaffen“. UHLMANN, L. [Der Innovationsprozess], S. 14f.

¹⁸⁹ Die Wirkungen von technischen Fortschritten wurden in SOLOWS Arbeiten isoliert beschrieben und analysiert. Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 18 sowie Kapitel 2.4.2. SOLOW betrachtete in seinen Ansätzen den technischen Fortschritt im Grunde als exogene Größe. Aufgrund empirischer Studien wies er 1957 nach, dass der überwiegende Teil (über 87%) des Einkommenszuwachses in den USA nicht durch Kapital- und Bevölkerungswachstum zu erklären sei. Vielmehr sei hier ein Residualfaktor verantwortlich, der auf den technischen Fortschritt zurückzuführen sei. Vgl.: SOLOW, R. M. [Technical change], S. 312-320.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

den in diesem Modellansatz Innovationen von außen ausgelöst, sind somit also nicht endogenen Ursprungs. Auch dieser Ansatz führt im Gesamtmarkt zu einer Gleichgewichtslösung. Auf der Grundlage dieser streng rationalen Überlegungen lassen sich jedoch Entstehung und Übernahme von Innovationen, welche sich der Optimierung durch den individuellen Erwartungsnutzen entziehen, nicht erklären.¹⁹⁰ In neueren Modellen wird daher der Innovationsprozess als ein zukunftsöffener Vorgang angesehen. Hier stehen nun traditionelle neoklassische Erklärungsmodelle vor allem evolutionsökonomischen Konzepten gegenüber.¹⁹¹

Die verschiedenen methodischen Ansätze der Ökonomie gegeneinander abzugrenzen, stellt eine nicht einfache Herausforderung dar. Diese gestaltet sich um so schwieriger, wenn ein noch recht junger Ansatz, wie die evolutorische Ökonomie ihn darstellt, von der herrschenden Denkschule zu differenzieren ist.¹⁹² Dieses Vorhaben wird durch den Umstand, dass es sich im Falle der evolutorischen Ökonomie noch nicht um ein konsistentes und in seiner Entwicklung abgeschlossenes analytisches Konzept handelt, zusätzlich erschwert.¹⁹³ Auch hat sich die neoklassische Lehre z. B. durch die Arbeiten zur neuen Wachstumstheorie weiterentwickelt und sich von ihrer ursprünglichen Konzeption beträchtlich entfernt.¹⁹⁴ Eine sachliche Einordnung der innovationstheoretischen Arbeiten in die Kategorien „neoklassisch“ und „evolutorisch“ ist daher nicht eindeutig möglich. Insgesamt kann die evolutorische Ökonomik nicht als Ersatz des neoklassischen Denkmusters betrachtet werden. Vielmehr sind die Aussagen der evolutorischen Ökonomie als Ergänzung des neoklassischen Modells zu verstehen, da bei der Erforschung von Wirkungen von Innovationen nicht auf die analytischen Vorteile verzichtet werden kann, welche die Neoklassik bei allen Einwänden zweifelsfrei bietet.¹⁹⁵

So soll und kann in dieser Arbeit kein weiterer Beitrag um die Diskussion ökonomischer Paradigmen geleistet werden. Vielmehr sollen neoklassische und evolutionsökonomische Ansätze, als die beiden wichtigsten Modelle der Innovations- und

¹⁹⁰ Vgl.: ERDMANN, G. [Evolutorische Innovationstheorie], S. 2.

¹⁹¹ Vgl.: GRAUMANN, M. [Wettbewerbstheorie], S. 659-662.

¹⁹² Nach HELMSTEDTER ist die evolutorische Ökonomie noch in der Entwicklungsphase. Vgl.: HELMSTEDTER, E. [Stellenwert des technischen Fortschritts], S. 19.

¹⁹³ Vgl.: CANTNER, U., HANUSCH, H. [Evolutorische Ökonomik], S. 776.

¹⁹⁴ Vgl.: ERDMANN, G. [Evolutorische Innovationstheorie], S. 5-7.

¹⁹⁵ So unterstreicht etwa SAVIOTTI, dass beide Forschungstraditionen sich keinesfalls gegenseitig ausschließen und sich nicht als gänzlich alternative Ansätze gegenüberstehen. Vgl.: SAVIOTTI, P. P. [Technological Evolution], S. 205.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Wachstumstheorie, in dem hier notwendigen Umfang dargestellt werden, um die in der Arbeit folgenden Überlegungen begründen und einordnen zu können.

2.5.2 Technischer Fortschritt in der neoklassischen Theorie

a.) Post-keynesianischen Wachstumstheorie

Aufbauend auf frühen ökonomischen Studien u. a. von SMITH, RICARDO und MILL zur Analyse der Änderungen der Produktionstechnologie sowie zu Veränderungen wirtschaftlichen und sozialen Gegebenheiten sowie insbesondere auf den Arbeiten von CLARK, KNIGHT und SCHUMPETER haben seit den sechziger Jahren sich auch neoklassische Wirtschaftstheoretiker mit den Fragen des technischen Wandels beschäftigt.¹⁹⁶ Erst die Ergebnisse der empirischen Wachstumsmessungen in der Phase nach dem Zweiten Weltkrieg, wonach der überaus größte Teil des Wirtschaftswachstums dem technischen Fortschritt zuzuschreiben sei, haben den entscheidenden Anstoß gegeben ökonomische Modelle zu entwickeln, in denen Forschung und Entwicklung als zentrale Größen zur wirtschaftlichen Entwicklung eine große Bedeutung zukommt. Diese Entwicklung geht einher mit der allgemeinen Entwicklung der neoklassischen Wachstumstheorie, deren Entstehung auf der Kritik der post-keynesianischen Wachstumsmodelle beruht. Die Modelle der post-keynesianischen Wachstumstheorie thematisieren in ihrer ersten Phase das Instabilitätsproblem, wohingegen bei den Autoren der zweiten Phase die Modellierung des Akkumulationsprozesses im Vordergrund steht.¹⁹⁷

Somit liegt bei den Überlegungen von HARROD und DOMAR (HARROD-DOMAR-Theorie) als Vertreter der ersten Phase das Instabilitätsproblem den Betrachtungen zu Grunde. Ihre Arbeiten können als eine Dynamisierung des keynesianischen Kreislaufsystems interpretiert werden.¹⁹⁸ Zwar führte der Wunsch nach einer theoretischen Durchdringung der Wachstumserscheinungen hier zu einer tieferen Beschäftigung mit den verschiedenen wachstumsbeeinflussenden Größen wie Kapitalkoeffizient, Investitions- und Lohnquote, ließ aber den Faktor „technischer Fort-

¹⁹⁶ Zur Entwicklung einer ökonomischen Theorie der Innovation vgl.: WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 15-19. GRUPP, H. [Messung], S. 49-55 sowie Gerybadze A. [Innovation], S. 39-42.

¹⁹⁷ Vgl.: KROMPHARDT, J.; SCHEIDT, B. [Wachstumstheorie], S. 4263ff.
Die Betonung der Kapitalakkumulation findet sich auch bei den Autoren der klassischen Ökonomie sowie bei MARX und SCHUMPETER. Vgl.: WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 19ff sowie SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 245f.

¹⁹⁸ Vgl.: PASINETTI, L. L. [Economic Growth], S. 35f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

schritt“ außer Betracht.¹⁹⁹ Die Bedingungen eines gleichgewichtigen Wachstums werden in diesen Ansätzen mithilfe des Quotienten aus Investitions- und Sparquote sowie dem Kapitalkoeffizient beschrieben. Die Wachstumsraten des Faktors Arbeit sowie seine Qualitätsverbesserungen sind dabei der Wachstumsrate des Kapitals und dessen Qualitätsverbesserungen angepasst. Der Wachstumsrate des Faktors Arbeit als unabhängige Variable kommt somit kein erklärender Charakter zu. Ein wesentlicher Kritikpunkt an diesem Modell ist, dass kleine Abweichungen vom Gleichgewichtspfad in eine instabile wirtschaftliche Entwicklung führen. Ein weiterer Kritikpunkt des DOMAR-Ansatzes besteht in der zunächst nicht erfolgten Berücksichtigung des Einflusses des technischen Fortschritts sowie des Bevölkerungswachstums auf das Wirtschaftswachstum. Aber auch die Berücksichtigung beider Faktoren im HARROD-Konzept lässt kein stabiles Gleichgewicht zu.²⁰⁰ Dieser Zustand der Instabilität einer Wirtschaft in der HARROD-DOMAR-Theorie führt schon bei nur geringen Abweichungen wesentlicher Parameter von den Gleichgewichtswerten zu anhaltender Arbeitslosigkeit oder Inflation.²⁰¹

b.) Neoklassische Wachstumstheorie

In den Arbeiten von SOLOW werden die beschriebenen Unzulänglichkeiten der post-keynesianischen kritisiert und zugleich der technische Fortschritt als eine wesentliche Kraft im ökonomischen Wachstumsprozess herausgestellt.²⁰² Die durch seine Modelle begründete neoklassische Wachstumstheorie fußt auf der Annahme einer linear-homogenen gesamtwirtschaftlichen Produktionsfunktion. Hier wird eine Substitutionsmöglichkeit von Arbeit und Kapital unterstellt,²⁰³ wodurch nach SOLOW die Existenz eines wie im HARROD-DOMAR Modell beschriebenen Wachstums auf „Messers Schneide“ entfällt.²⁰⁴

¹⁹⁹ Vgl.: DOMAR, E. D. [Foreword], S. 7.

²⁰⁰ Zu dem Modell von HARROD vgl.: HARROD, R. F. [dynamic economics].

²⁰¹ Zum HARROD-DOMAR-Modell vgl. weiterführend: SEILER, A. W. [Harrod-Domar-Modell], S. 53-83. REETZ wendet jedoch speziell zum HARROD-Modell ein, dass – je nach Verhalten der Wirtschaftssubjekte im Ungleichgewicht - durchaus stabile Varianten denkbar seien. Vgl.: REETZ, N.: [Konjunktur], S. 53.

²⁰² Siehe hierzu die beiden grundlegenden Aufsätze von SOLOW aus den Jahren 1956 und 1957. Vgl.: SOLOW, R. M. [Economic Growth] sowie SOLOW, R. M. [Technical change].

²⁰³ Vgl.: REETZ, N.: [Konjunktur], S. 92.

²⁰⁴ Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 242.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Die neoklassische Wachstumstheorie, ist somit dadurch gekennzeichnet, dass sie die Auswirkungen des Arbeitsangebots und des technischen Fortschritts sowohl in Bezug auf das Produktionsergebnis als auch im Hinblick auf die Kapitalakkumulation ausdrücklich berücksichtigt.²⁰⁵ Dabei kann das Wachstum des Faktors Arbeit exogen vorgegeben werden. Der technische Fortschritt (u. a. in der Gestalt von Forschung und Entwicklung) hingegen wird als sog. „Dritter Faktor“ isoliert, wodurch seine Endogenisierung in den Modellbetrachtungen vorbereitet wird.²⁰⁶ Zwar stützen sich die Modellansätze der Neoklassik auf den rationalen, gewinnmaximierenden Unternehmer. Allerdings findet neben Preisen und Produktionsmengen auch Forschung und Entwicklung (F&E-Bereich) und somit Wissen als Ressourcen optimierender Unternehmen Berücksichtigung. Insbesondere neuere Ansätzen zeichnen sich zudem durch die Modellierung dynamischer Wettbewerbsaspekte zwischen rivalisierenden Unternehmern aus. Die Modelle der neoklassischen Innovationstheorie umfassen somit im Wesentlichen wettbewerbs-, entscheidungs- und spieltheoretische Aspekte.

SOLOW als einer der Wegbereiter der neoklassischen Innovationstheorie zeigt, dass die Wachstumsraten des Sozialprodukts durch die Summe der mit den jeweiligen Produktionselastizitäten gewichteten Wachstumsraten der Inputfaktoren Arbeit und Kapital determiniert sind.²⁰⁷ Neben SOLOW zählen TOBIN, SWAN und MEADE zu weiteren bedeutenden Vertretern der neoklassischen Wachstumstheorie.²⁰⁸ Bei diesen Autoren stellt die Existenz einer Produktionsfunktion die wichtigste Modellgrundlage im Versuch dar, dem Problem der Instabilität eines gleichgewichtigen Wachstums entgegenzutreten. Aber auch KALDOR, der in der Literatur vielfach zu den Kritikern dieser Theorie gezählt wird, kann zumindest teilweise in die aufgeführte Reihe ein-

²⁰⁵ Als weitere Merkmale der neoklassischen Wachstumsmodelle sind zu nennen: Vgl.: SEILER, A. W. [Harrod-Domar-Modell], S. 84-90.

1. Es liegt eine Produktionsfunktion mit dem exogenen Faktor Arbeit und dem endogenen Faktor Kapital vor;
2. Beide Faktoren besitzen eine abnehmende partielle Grenzproduktivität und sind gegenseitig substituierbar;
3. Die Faktorpreise bilden sich entsprechend der relativen Knappheit auf vollkommenen Faktormärkten;
4. Die Entlohnung der Faktoren entspricht ihrer Grenzproduktivität;
5. Aufgrund der Lohn-Zins-Relation sowie der Faktorpreisrelation wird eine vollständige Nutzung der Faktoren erreicht;
6. Unternehmer richten ihr Handeln auf Gewinnmaximierung aus.

²⁰⁶ Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 18f.

²⁰⁷ Vgl.: REETZ, N.: [Konjunktur], S. 92ff.

²⁰⁸ Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 25.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

geordnet werden.²⁰⁹ Zwar verließ er das Konzept der Produktionsfunktion und ersetzte es durch eine technische Fortschrittsfunktion.²¹⁰ Dieses Konzept führt in seinen Ergebnissen jedoch wieder, wie in Kapitel 2.4.3 aufgezeigt werden konnte, auf die neoklassische Theorie zurück, da sich aus einer Produktionsfunktion im allgemeinen eine Funktion des technischen Fortschritts ableiten lässt, wodurch KALDORS Funktion allgemeiner als der ursprünglich neoklassische Ansatz ist. Aufgrund der Betonung der Verbindung von Kapitalakkumulation und technischen Fortschritt können KALDOR, aber auch ROBINSON, in dessen Modell die investierenden Unternehmen das Gesamtwachstum vorantreiben, als Vertreter der zweiten Phase der post-keynesianischen Wachstumstheorie angesehen werden.²¹¹

Von ARROW stammt ein weiterer früher Beitrag zur neoklassischen Innovationstheorie. Er zeigt, gestützt auf die Analyse der Marktstruktur, dass ein vollkommener Wettbewerb größere Innovationsanreize erzeugt als monopolistisch geprägte Märkte. Sein Modellansatz stützt sich dabei im Wesentlichen auf das Vorkommen handelbarer Prozessinnovationen. In der treffenden Darstellung des Zusammenhangs zwischen Marktstruktur und Innovationsanreiz wird allerdings das Auftreten von Produktinnovationen ausgeblendet, sodass das ARROWSCHE Wettbewerbsmodell in der neoklassischen Tradition lediglich auf die Variablen Menge und Preis beschränkt bleibt. Realistischer als das ARROW-Modell sind entscheidungstheoretische Überlegungen, die eine Fortführung der neoklassischen Ansätze zur Innovationstheorie darstellen. Die Modellation des Innovationsgeschehens berücksichtigt hier die für Innovationsgeschehen typischen Phänomene Unsicherheit, Dynamik und Externalität. Exemplarisch kann das von KAMIEN und SCHWATZ vorgestellte Modell zum Entscheidungsverhalten eines risikoneutralen und gewinnmaximierenden Unternehmers im Innovationsmodell angeführt werden, das allerdings die Wechselwirkungen zwischen Unternehmen nicht berücksichtigt. Da die Entscheidungen der Unternehmen im Modell als unabhängig voneinander betrachtet werden, ist vor allem die fehlende Konkurrenz bei innovationsorientierten Entscheidungen in diesem Ansatz zu bemängeln. Die Erwartung eines Unternehmers, dass ein Wettbe-

²⁰⁹ BOLLMANN betont, dass dieser Modellansatz nicht im eigentlichen Sinne als neoklassisch zu bezeichnen sei, da hier keine Beziehung zwischen der Grenzproduktivität und der Grenzrate der Substitution einerseits sowie Lohn und Gewinn andererseits unterstellt werde. Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 25f.

²¹⁰ Vgl.: KALDOR, N. [Economic Growth], S. 591-624.

²¹¹ Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 298.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

werber ebenfalls innoviert bzw. imitiert, stützt sich auf eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung, die von der Wettbewerbsintensität, dem Zinssatz und der Zeit abhängig ist. Insgesamt ergeben sich aus dem entscheidungstheoretischen Ansatz deutliche Parallelen zu dem in Kapitel 2.5.3 diskutierten Wettbewerbsmodell von SCHUMPETER.

Der dritte wesentlich Beitrag zur neoklassischen Innovationstheorie stellen spieltheoretische Modelle dar. Im Rahmen der Spieltheorie wird das rationale Entscheidungsverhalten sich gegenseitig beeinflussender Akteure in Konfliktsituationen analysiert, in denen der Erfolg des einzelnen Akteurs nicht ausschließlich vom eigenen Handeln, sondern wesentlich von den Aktionen anderer Beteiligter abhängig ist.

Aus innovationstheoretischer Sicht können spieltheoretische Ansätze als Fortführung der entscheidungstheoretischen Modelle angesehen werden, da es nun möglich ist, u. a. Wechselwirkungen zwischen dem Innovationsverhalten der einzelnen Wirtschaftsbeteiligten - so zum Beispiel betreffend die Forschungs- und Entwicklungsentscheidungen von Unternehmen - abzubilden.²¹² Charakteristisch für ökonomische Spiele, etwa die Modellierung des Verhaltens von Mitgliedern eines Oligopols, ist zum einen die Beschreibung der Präferenzen und Strategien der Akteure. Zum anderen werden die Resultate jeder möglichen Strategiekombination sowie die Definition einer optimalen Lösung aufgezeigt.

Mit ihrer Untersuchung der Wirkungen von Verhandlungen und Koalitionen im wirtschaftlichen Geschehen begründeten v. NEUMANN und MORGENSTERN (1944) die kooperative Spieltheorie, indem sie endliche Zwei- und Mehr-Personen-Nullsummenspiele ausführlich diskutieren.²¹³ Nach dem Modell der beiden Autoren hat jedes endliche Zwei-Personen-Nullsummenspiel ein eindeutiges Minimax-Gleichgewicht, selbst bei unvollkommener Information.²¹⁴ Die Konzentration auf

²¹² SÖLLNER schlägt als Beschreibung von Gegenstand und Aussage der Spieltheorie daher den Begriff der „interaktiven Entscheidungstheorie“ vor. Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 317.

²¹³ Vgl.: NEUMANN, J. v.; MORGENSTERN, O. [THEORY OF GAMES]. Die beiden Autoren können als die Begründer der kooperativen Spieltheorie angesehen werden. Der erste der Spieltheorie zuzuordnende Beitrag stammt von ZERMELO (1913), wobei die Ursprünge spieltheoretischer Überlegungen bis COURNOT und EDGEWORTH zurückreichen. Die Literatur zur Spieltheorie ist vielfältig. Einen Überblick vermitteln HOLLER und ILLING. Vgl.: HOLLER, M. J.; ILLING, G. [Spieltheorie].

²¹⁴ In einem Minimax-Gleichgewicht wählt jeder Spieler seine Sicherheitsstrategie, wobei, diese gleichzeitig die bestmögliche Reaktion auf die Sicherheitsstrategien der anderen Akteure darstellt. Bei Erfolg gewährleistet die eigene Sicherheitsstrategie die beste Auszahlung gegenüber

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Nullsummenspiele bei gleichzeitigem Fehlen eines Lösungsvorschlages für Nicht-Nullsummenspiele ist jedoch als eine bedeutende Schwäche des Konzeptes von V. NEUMANN und MORGENSTERN zu werten. So sind, nicht zuletzt aus der Sicht der ökonomischen Innovationstheorie, viele ökonomische Entscheidungssituationen dadurch gekennzeichnet, dass alle an einer Interaktion beteiligten Wirtschaftssubjekte ihren Nutzen erhöhen können, obwohl Interessensgegensätze zu anderen bestehen. NASH löste dieses Problem für den Fall der nichtkooperativen Spiele²¹⁵ mit der Einführung des strategischen Gleichgewichts (sog. Nash-Gleichgewicht) auf.²¹⁶ NASH konnte unter sehr allgemeinen Bedingungen beweisen, dass für endliche Spiele mindestens ein Gleichgewicht existiert, welches als eine Kombination von reinen oder gemischten Strategie definiert ist. Dabei gilt, dass jeder Akteur seinen Nutzen durch ein Abweichen von seiner Gleichgewichtsstrategie nicht weiter erhöhen kann, falls alle anderen Akteure ihre eigene Gleichgewichtsstrategie verfolgen. Im Nash-Gleichgewicht werden daher die Erwartungen aller Spieler erfüllt, womit sich die Strategie Wahl als optimal erwiesen hat. Somit kommt NASH zum grundsätzlich gleichen Ergebnis wie COURNOT oder STACKELBERG. Dessen ungeachtet wird jedoch deutlich, dass diese Oligopol-Lösungen lediglich Sonderfälle darstellen, da mit Hilfe der Spieltheorie Interaktionen zwischen den Oligopolisten ausführlicher analysiert und Faktoren wie Drohungen und Markteintrittsbarrieren ausdrücklich berücksichtigt werden können.²¹⁷

Insbesondere in der Analyse von strategischen Interaktionen bei oligopolistischen Marktstrukturen hat sich der Ansatz von NASH als hilfreich erwiesen. Das Lösungskonzept von NASH stellt dabei die Grundlage für neuere spieltheoretische Arbeiten dar, die das Nash-Gleichgewicht weiterentwickelten und ergänzten. So konnte SELTEN den Ansatz von NASH entscheidend verbessern, in dem er die Eindeutigkeit von Gleichgewichts-Lösung durch das Konzept der Teilspielperfektheit gewährleis-

allen anderen (minimalen) Sicherheitsstrategien. Das Minimax-Gleichgewicht basiert somit auf der Annahme von sehr risikoaversen Spielern. Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 318.

²¹⁵ Die allgemeine Unterscheidung zwischen kooperativer und nichtkooperativer Spieltheorie ist auf HARSANYI zurückzuführen. Im Falle kooperativer Spielstrategien sind im Gegensatz zu nichtkooperativen Spielstrategien bindende Vereinbarung zwischen den Spielern zugelassen. Vgl.: HARSANYI, J. C. [General theory], S. 613-634.

Das prominenteste nichtkooperative Spiel stellt das sog. „Gefangenendilemma“ dar. Hierbei verfügen die beiden teilnehmenden Spieler über jeweils zwei Strategien.

²¹⁶ Vgl.: NASH, J. F. [Non-Cooperative Games], S. 286-295.

²¹⁷ Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 321f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

tet, da in seinem Modell nur vollkommen rationale Strategien zugelassen werden.²¹⁸ Durch die Unterscheidung der Gleichgewichtsstrategien jedes Teilspiels nach ihrer Rationalität ist es in diesem Modell möglich, auch mehrstufige nichtkooperative Spiele zu analysieren. Eine weitere Unzulässigkeit in NASHs Modell, das der unvollständigen Information der Akteure, konnte durch HARSANYI mittels der Einführung eines allgemeinen Spielers aufgelöst werden.²¹⁹

Ausgehend von den Erkenntnissen des Nash-Gleichgewichts ist aus Sicht der Innovationsökonomie vor allem der modelltheoretische Ansatz von DASGUPTA und STIGLITZ von besonderem Interesse.²²⁰ Auf der Basis eines nichtkooperativen Innovationsspiels entwickelten beide Autoren eine Theorie des oligopolistischen Innovationswettbewerbs, bei dem die ex-post Markstruktur endogen bestimmt wird. Der Innovationserfolg besteht dabei entsprechend der Modell-Annahmen in einem Patent, das für unbestimmte Zeit gewährt wird. Aufgrund der im Modell ausgeschlossenen Möglichkeit für Wettbewerber das Patent zu imitieren, sind daher Imitationsgewinne unmöglich, was im Ergebnis zu einem beliebig langen Monopolvorsprung des erfolgreichen Unternehmens führt. In Reaktion auf den Innovationserfolg eines Wettbewerbers werden im Gegenzug alle anderen Unternehmen, aufgrund der Annahme einer rationalen Strategiewahl, dazu veranlasst, ihre eigenen Innovationsbemühungen sofort einzustellen. In einer dynamisierten Betrachtung des Innovationsprozesses finden somit Patent-Wettrennen der verschiedenen Wettbewerber statt.²²¹ Die Analyse für einen mit identischen Unternehmen besetzten Markt mit symmetrischem Innovationswettbewerb findet sich neben DASGUPTA und STIGLITZ auch bei LOURY²²² sowie bei LEE und WILDE.²²³ Die von LEE und WILDE gewählten Gleichgewichtsannahmen führen dabei zu Ergebnissen, nach denen eine hohe Marktkonzentration innovationshemmend ist. Hingegen kommt das Modell von

²¹⁸ Teilspielperfekte Gleichgewichtsspiele erfüllen die Gleichgewichtsbedingung nicht nur für das Gesamtspiel, sondern auch für jedes Teilspiel. Vgl.: SELTEN, R. [Spieltheoretische Behandlung], S. 301-324 und S. 667-689 sowie SELTEN, R. [Extensive Games], S. 25-55.

²¹⁹ Entsprechend des Vorschlags von HARSANYI kann ein bestehendes Informationsdefizit durch die Einbeziehung eines fiktiven Zufallszugs in stochastische Unsicherheit transformiert werden, dessen Ergebnis die subjektiven Erwartungen der nicht informierten Spieler widerspiegeln. Vgl.: HARSANYI, J. C. [Games], S. 159-182, S. 320-334 und S. 486-502 sowie HARSANYI, J. C.; SELTEN, R. [Nash solution], S. 80-106.

²²⁰ Vgl.: DASGUPTA, P.; STIGLITZ, J. [Uncertainty], S. 1-28.

²²¹ Vgl.: GRUPP, H. [Messung], S. 63.

²²² Vgl.: LOURY, G. C. [Market Structure], S. 395-410.

²²³ Vgl.: LEE, T. K.; WILDE, L.L. [Market Structure], S. 429-436.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

LOURY, in dem nur die fixen, nicht aber variablen Forschungs- und Entwicklungskosten innovationswirksam sind zu dem Ergebnis, dass Innovationsaufwendungen und Marktkonzentration positiv korreliert sind.

Für den aus innovationstheoretischer Betrachtung bedeutenden Fall eines asymmetrischen Innovationswettbewerbs bei Unsicherheit, der auf einer bereits bestehenden Monopolsituation im Produktmarkt basiert, konnten GILBERT und NEWBERY ein strategisches Nash-Gleichgewicht für die Innovationsaufwendungen von Unternehmen modellieren.²²⁴ Beide Autoren konnten u. a. zeigen, dass die Existenz eines Herausforderers den etablierten Monopolisten dazu veranlasst, mehr in die Entwicklung von Innovationen zu investieren als er dies in einer reinen Monopolsituation getan hätte. Einschränkungen zu dem Modell ergeben sich dabei zum einen aufgrund der Modellannahmen, wonach in Vorperioden sowohl bereits erlangte Innovationserfahrung als auch aufgebaute Forschungs- und Entwicklungskapazitäten unberücksichtigt bleiben als auch Spill-over-Effekte in Forschung und Entwicklung ausgeschlossen sind. Darüber hinaus ergibt die Analyse des Modells keine eindeutige Aussage, wer im Nash-Gleichgewicht tatsächlich mehr Innovationsausgaben tätig und deshalb mit größerer Wahrscheinlichkeit Sieger im Innovationswettbewerb wird. Im Rahmen der Erörterung der Schumpeter-Hypothese ist dieser Punkt noch weiter zu vertiefen.

In einer Gesamtbewertung bleibt festzuhalten, dass die Spieltheorie, bei aller Vorteilhaftigkeit der Analyse, Schwachstellen aufweist. Hier ist insbesondere die Existenz vieler Gleichgewichte zu nennen, so dass die Auswahl eines bestimmten strategischen Gleichgewichts zur Prognose des Spiels entweder nicht oder nur unter Herabziehung modellfremder Faktoren möglich ist. Des weiteren müssen aufgrund der Modellannahmen meist sehr hohe und mit der Realität oft nicht zu vereinbarende Anforderungen an die Rationalität der Spieler gestellt werden.²²⁵ Insgesamt lässt

²²⁴ Vgl.: GILBERT, R. J.; NEWBERY, D. M. G. [Preemptive Patenting], S. 605-625.

Der Innovationswettbewerb nimmt dabei die Gestalt an, dass jedes Unternehmen die Innovationsaufwendungen anstrebt, die den Gegenwartswert seines erwarteten Gewinnstroms für gegebene, erwartete Innovationsaufwendungen des Wettbewerbsunternehmens maximiert. Dies führt zu verschiedenen Reaktionsgraden der Unternehmen. Im Schnittpunkt der Reaktionsgraden liegt das Nash-Gleichgewicht des Innovationswettbewerbs für die jeweils optimalen Innovationsaufwendungen. Zur Ermittlung des Nash-Gleichgewichts ist es dabei erforderlich, die (abdiskontierten) Gegenwartswerte der erwarteten Gewinnströme des etablierten Unternehmens und des Herausforderers zu definieren. Unter der Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeiten, mit denen die alternativen Annahmen über einen früheren Innovationszeitpunkt eintreffen ist es dann möglich, den Verlauf der jeweiligen Reaktionskurve (Steigung) zu bestimmen.

²²⁵ Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 321.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

sich die Spieltheorie, aufgrund der Annahme rationalen, d. h. nutzenmaximierenden Verhaltens, als Verallgemeinerung der neoklassischen Theorie interpretieren.

c.) Neue Neoklassische Wachstumstheorie

Im Vergleich der neoklassischen zu der post-keynesianischen Wachstumstheorie ist festzustellen, dass der Wachstumsprozess in den post-keynesianischen Modellen durch aktive, planende und erwartungsbildende Unternehmer determiniert ist.²²⁶ Beiden Modellansätzen ist jedoch gemein, dass der technische Fortschritt im Wesentlichen modellexogenen Charakter besitzt und somit als Hauptfaktor der wirtschaftlichen Entwicklung unerklärt bleibt.

In der Kritik der traditionellen neoklassischen wie auch der post-keynesianischen Wachstumstheorie versuchen die Protagonisten der neuen²²⁷ (neoklassischen) Wachstumstheorie, Humankapital und technischen Fortschritt als Hauptdeterminanten der Produktivitätszunahme von Arbeit und Kapital und somit wirtschaftlichem Wachstum zu beschreiben sowie technologische Externalitäten als Erklärung für steigende Skalenerträge in der aggregierten Produktionsfunktion in die Modelle zu integrieren.²²⁸ Dabei wird versucht, durch die Endogenisierung des technischen Fortschritts Innovationen im dynamischen allgemeinen Gleichgewichtsmodell zu integrieren.²²⁹ Ausgehend von den Arbeiten von ROMER und LUCAS²³⁰ kann die neue Wachstumstheorie in einen Externalitäten-Ansatz, einen Kapitalakkumulations-Ansatz sowie einen Innovationsansatz untergliedert werden. Insbesondere der Innovationsansatz wird in der Literatur als der bedeutsamste angesehen, da hier ausdrücklich auf technische Innovationen und Innovationen in Forschung und Entwicklung - somit Wissen - abgestellt wird, um unternehmerische Wettbewerbsvorteile zu erlangen.²³¹ Diese Aussage impliziert, dass Unternehmen aktiv Innovationen

²²⁶ Vgl.: KROMPHARDT, J.; SCHEIDT, B. [Wachstumstheorie], S. 4263.

²²⁷ SÖLLNER spricht in diesem Zusammenhang auch von der „endogenen“ Wachstumstheorie, da der technische Fortschritt hier eine Endogenisierung erfahren hat. Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 250f.

²²⁸ Vgl.: GICK, W. [Innovationspolitik], S. 165.

²²⁹ Vgl.: AGHION, P.; HOWITT, P. [Endogenous Growth], S. 3.

²³⁰ Die beiden richtungsweisenden Arbeiten von ROMER (1986) und LUCAS (1988) stellen den Beginn der Überlegungen zur neuen Wachstumstheorie dar. Vgl.: ROMER, M. P. [Long-Run Growth], S. 1002-1037 sowie LUCAS, R. E. JR. [Economic Development], S. 3-42.

²³¹ Zu den einzelnen Ansätzen der neuen Wachstumstheorie vgl. weiterführend: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 250 – 259.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

erzeugen, um ein prozessuales (temporäres) Monopol zu erlangen, wodurch ein unvollkommener Wettbewerb gegeben ist.²³² Die temporären Monopolsituationen ergeben sich aus der Existenz exklusiver Rechte (Patente) für die Nutzung von durch technisches Kapital und Humankapital erzeugten Innovationen. Dabei können, je nach Modell, patentierbare Innovationen sowohl zur Erhöhung der Produktvielfalt aufgrund neuer Produkte (ROMER)²³³ als auch zu einer Verbesserung der Produktqualität (GROSSMAN UND HELPMAN)²³⁴ führen. Vor allem ROMER weist darauf hin, dass das wirtschaftliche Wachstum entscheidend durch die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten und somit durch den Einsatz von Humankapital getragen wird, da zum einen von der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit positive Externalitäten ausgehen und zum anderen für den Humankapitaleinsatz bei der Generierung von Innovationen gleichbleibende Grenzproduktivitäten anzunehmen sind.²³⁵

Als wesentliche Grundlage zur Generierung neuen Wissens und somit von Humankapital basieren die Modelle der neuen Wachstumstheorie auf der Erfassung von Erfahrungs- bzw. Lerneffekten. So ist hier vor allem auf ROMERS Wachstumsmodell abzustellen, das in der Kritik insbesondere zu ARROWS Ansatz bei einer Endogenisierung des technischen Fortschritts eine wachsende Grenzproduktivität des Faktors Wissen ausweist.²³⁶ Dazu nimmt ROMER die Trennung des „composite“-Kapitalstocks vor und führt somit die eigenständige Erfahrungsakkumulation in das neoklassische Wachstumsmodell ein.²³⁷

²³² Vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 2.5.3.1 zum Wettbewerbsprozess nach SCHUMPETER.

²³³ Vgl.: ROMER, P. M. [Technological Change], S. 73-88.

²³⁴ Vgl.: GROSSMAN, G. M.; HELPMAN, E. [Theory of Growth], S. 43 – 61 sowie GROSSMAN, G. M.; HELPMAN, E. [Innovation], S. 84 – 111.

²³⁵ Da für den Fall des wirtschaftlichen Gleichgewichts von Unterinvestitionen im Bereich der privat-finanzierten, anwendungsorientierten Forschung ausgegangen werden kann, liegt in dieser Situation sowohl eine starke Abweichung vom Allokationsoptimum als auch eine Nichterfüllung der Koordinationsfunktionen des Marktes (Marktversagen) vor. Dies führt in der wirtschaftspolitischen Konsequenz zu der Forderung der Subventionierung von Forschungsaktivitäten. Vgl.: ROMER, P. M. [Technological Change], S. S90-S98 sowie EICKHOF, N.; STRECKER, D. [Neue Wachstumstheorie], S. 239.

²³⁶ Trotz der Kritik der Vertreter der neuen (neoklassischen) Wachstumstheorie an ARROW stellt dessen Ansatz des „Learning-by-doing“ eine wesentliche theoretische Grundlage zur Entwicklung dieser Strömung dar. Vgl.: SOLOW, R. M. [Learning], S. 1-21.

²³⁷ Vgl.: ROMER, M. P. [Long-Run Growth], S. 1002-1037 sowie Kapitel 2.4.2.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Da sich die neue Wachstumstheorie als noch relativ junger modelltheoretischer Ansatz erst in der Phase der Entwicklung hin zu einem konsistenten Gesamtbild befindet (sofern dies überhaupt erreichbar ist),²³⁸ stellt sich folglich dessen Rezeption sehr unterschiedlich dar. So unterstreicht SÖLLNER²³⁹ in einer Gesamtbetrachtung der neuen Wachstumstheorie, aufgrund der Abkehr vom Leitbild des vollkommenen Wettbewerbs sowie der Berücksichtigung institutioneller Faktoren, die realitätsnahe Darstellung des Unternehmers, was von EICKHOF und STRECKER jedoch nicht geteilt wird.²⁴⁰ Diese Autoren betonen, dass die neue Wachstumstheorie aufgrund der Ermittlung gleichgewichtiger Entwicklungspfade eindeutig in die Tradition der Neoklassik einzuordnen sei.²⁴¹ SOLOW stellt speziell für ROMER die Vielzahl von in ihrer tatsächlichen Ausprägung letztlich unbekannten Annahmen heraus, da dies zu Modellkonstruktionen führe, die in ihrer Aussagekraft kritisch bewertet werden müssten.²⁴² Die Interpretation des gleichgewichtigen Wachstumspfad führt jedoch auch in Teilen der neueren Literatur zur Erkenntnis, hier nicht mehr die Fortführung konstanter Strukturen (steady state) anzunehmen, sondern die fortlaufenden Veränderungen der grundlegenden Größen der Volkswirtschaft, verbunden mit der Veränderung ihrer strukturellen Zusammensetzung, im Modell zu betonen.²⁴³ Dabei werden die dynamischen Veränderungen der Produktivität, des Arbeitsangebots und der Nachfragestruktur als Merkmale dynamischer Volkswirtschaften begriffen, wodurch die Probleme des Strukturwandels und der technologisch bedingten Arbeitslosigkeit Berücksichtigung finden. So soll dem empirisch nachgewiesenen Sachverhalt zwischen der Veränderung des Pro-Kopf-Einkommens und dem sektoralen Strukturwandel, somit der engen Verbindung zwischen technischem Fortschritt und Strukturwandel, entsprochen werden.

²³⁸ So stellt SÖLLNER hier noch ein großes Potential zur Weiterentwicklung fest. Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 258f.

²³⁹ Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 258.

²⁴⁰ Vor allem das hohe Aggregationsniveau wird hier als Einschränkung hin zu einer realitätsnahen Abbildung des Unternehmerverhaltens angesehen. Vgl.: EICKHOF, N.; STRECKER, D. [Neue Wachstumstheorie], S. 238. Auch KROMHARDT UND SCHEIDT unterstellen der neuen Wachstumstheorie „zum Teil kühne Annahmen“ bzgl. der Produktionselastizitäten der Faktoren. Vgl.: KROMPHARDT, J.; SCHEIDT, B. [Wachstumstheorie], S. 4275.

²⁴¹ Vgl.: EICKHOF, N.; STRECKER, D. [Neue Wachstumstheorie], S. 238.

²⁴² Vgl.: SOLOW, R. M. [New Directions], S. 3 - 16.

²⁴³ Siehe hierzu die Analyse von PASINETTI bei HAGEMANN. Vgl.: HAGEMANN, H. [Strukturwandel und Beschäftigung], S. 55-58.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Entsprechend dem neoklassischen Paradigma des rational handelnden Individuums (*homo oeconomicus*)²⁴⁴ unterliegt auch das Innovationsverhalten in der neoklassischen Theorie der Maximierung des individuellen Erwartungsnutzens. Somit werden innovationsbezogene Entscheidungen weitgehend auf der Basis von Überlegungen zur Allokation knapper Ressourcen betrachtet. Folglich konzentriert sich die neoklassische Innovationstheorie auf die Bestimmung der optimalen Höhe der Inputfaktoren. Sie ergibt sich als Gleichgewichtslösung eines ökonomischen innovationstheoretischen Modells, wobei strategische Interaktionen auf dem Markt ausgeblendet werden. Stimmen die individuellen Grenznutzen und Grenzkosten einer Innovation überein, ist das Allokationsoptimum erreicht. Eine weitere wesentliche Modellvoraussetzung der neoklassischen Analyse ist ein eindeutiger und dem Entscheidungsträger transparenter Zusammenhang zwischen den mit einer Innovation verbundenen Nutzen und Kosten, die Annahme einer vollständigen Konkurrenz sowie die beliebige Teilbarkeit der Produktionsfaktoren.

Insgesamt kann für die neoklassische Lehre festgehalten werden, dass Innovationen und qualitative Änderungen für sie unzugänglich bleiben, da sich ihre Modelle stark an der klassischen Mechanik und somit an der statischen Gleichgewichtskonzeption orientieren und die Analyse auf die Verwendung gegebener Mittel zur Realisierung gegebener Ziele beschränkt bleibt.²⁴⁵

2.5.3 Bewertung der neoklassischen Modelle im Kontext einer evolutorischen Innovationstheorie

2.5.3.1 Evolutorische Ansätze in der Innovationsforschung

a.) Grundannahmen der evolutorischen Innovationstheorie

Die evolutorische Ökonomik betrachtet und analysiert ökonomische Prozesse unter dem Blickwinkel ständiger Veränderungen in ihrer Intensität, ihrer Struktur sowie ihrer Qualität.²⁴⁶ Dabei wird auf die in der Biologie zu beobachtenden Phänomene

²⁴⁴ Zur wirtschaftswissenschaftlichen Analyse menschlichen Verhaltens vgl. weiterführend: MCKENZIE, R. B.; TULLOCK, G. [*Homo oeconomicus*].

²⁴⁵ Vgl.: SÖLLNER, F. [*Geschichte des ökonomischen Denkens*], S. 305.
Zur Entwicklung der evolutorischen Ökonomie vgl.: BOULDING, K. E. [*evolutionary economics*], S. 9-17.

²⁴⁶ So fordert MARSHALL, dass „economists have much to learn from the recent experiences of biology“. MARSHALL, A. [*Principles*], S. 50. So stellte MARSHALL im Vorwort der 8. Ausgabe der *Principles of Economics* fest: „The Mecca of the economics lies biology rather than in economic dynamics“. MARSHALL, A. [*Principles*], S. xiv.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

der Evolution und der Mutation sowie deren Durchsetzung, der Selektion zurückgegriffen. Im Gegensatz zur Biologie stellt jedoch hier die Mutation ein oftmals zielgerichtetes Handeln ökonomischer Akteure im Rahmen von Neuerungstätigkeiten dar und ist dabei Voraussetzung für die Anpassungsfähigkeit an eine sich verändernde Umwelt und damit an exogene Schocks.²⁴⁷ Umfang und Tiefe der Rezeption der in der Biologie aufgestellten Gesetzmäßigkeiten ist bei den einzelnen Vertretern der evolutorischen Ökonomie indes sehr unterschiedlich ausgebildet und reicht von dem oberflächigen Bemühen von Metaphern, über biologische Analogien bis hin zur weitgehenden Übertragung biologischer Konzepte auf die Ökonomie im biologischen Reduktionismus. Allen Ansätzen gemein ist dabei der Bezug zur Evolutionstheorie, mit deren Hilfe vor allem die Schwächen der „alten“ neoklassischen Theorie aufgezeigt werden sollen.²⁴⁸

Dieser Ansatz ist für sich betrachtet nicht neu. Schon früh forderte MARSHALL die Berücksichtigung biologischer Erkenntnisse in der ökonomischen Theorie.²⁴⁹ Jedoch ließen sich statische Analyse und evolutorische Grundannahmen nicht in einem schlüssigen Modell miteinander vereinen. VEBLEN beschrieb die ökonomischen Entwicklungen als Evolutionsprozess und nutzte biologische Metaphern, um die Unzulänglichkeiten der neoklassischen Theorie herauszuarbeiten. Die institutionellen und kulturellen Faktoren, entsprechend den Genen in der Biologie, unterliegen in seiner Analyse Vorgängen der Mutation und Selektion.²⁵⁰

²⁴⁷ Vor allem unter dem Eindruck der zu jener Zeit publizierten Arbeiten von CHARLES DARWIN sowie den Erkenntnissen von JEAN BAPTISTE LAMARCK zur biologischen Abstammungs- und Evolutionstheorie wurden mechanisch, physikalische Gesetzmäßigkeiten der statischen Mechanik zur Erklärung des wirtschaftlichen Geschehens verstärkt abgelehnt. Die wirtschaftswissenschaftliche Neuorientierung basierte daher auf biologischen Analogien und Metaphern zu Evolutions-, Anpassungs- und Überlebensprozessen, die als Grundlage neuer Erklärungsmodelle in die ökonomische Theorie Eingang fanden. Vgl.: FABER, M., PROOPS, J. (Evolution), S. 58-87; MANI, G. (Biological Evolution), S. 31-57.

²⁴⁸ Dabei ist der Unterschied zwischen Metaphern und Analogien nicht immer eindeutig zu bestimmen. Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 304-311.

²⁴⁹ Vgl.: SAVIOTTI, P.; METCLAFE, J. [Evolutionary Economics], S. 1.

²⁵⁰ Vgl. hierzu das Werk: VEBLEN, T. [Leisure Class].

SÖLLNER bezeichnet THORSTEIN BUNDE VEBLEN als den eigentlichen Begründer der evolutorischen Ökonomie. VEBLEN griff in seinem Werk auf darwinistische Konzepte zurück, hinterließ jedoch kein einheitlich geschlossenes theoretisches Gebäude. Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 305 sowie SOWELL, T. [Veblen], S. 127-150.

Zur Entwicklung der evolutorischen Ökonomie vgl.: LANGLOIS, R. N.; EVERETT, M. J. [Evolutionary Economics], S. 11 – 47.

b.) Schumpeters Wettbewerbsmodell

Die wichtigsten Impulse zur Entwicklung einer evolutorischen Ökonomik gingen jedoch von der österreichischen Schule aus. So hat SCHUMPETER, einer ihrer bedeutendsten Vertreter, eine Theorie zur technologischen Entwicklung von Volkswirtschaften erarbeitet, welche evolutorische Überlegungen zur wirtschaftlichen Entwicklung beinhalteten.²⁵¹ Seine Analyse des Zusammenhangs von Wettbewerb und Innovation stellt die Grundlage der modernen Innovationsforschung dar.²⁵² Hier ist vor allem die Beschreibung des Innovationsprozesses als einen evolutorischen Vorgang zu nennen, der als Paradigma der evolutionären Innovationsforschung bezeichnet werden kann.²⁵³ SCHUMPETERS Arbeit gründet auf der Annahme, dass Wettbewerb nicht als ein gleichgewichtiger Zustand anzusehen ist, sondern als ein Prozess, bei dem seitherige Gleichgewichte durch qualitative Wettbewerbsprozesse zerstört und durch Arbitrageprozesse wieder neue gleichgewichtige Zustände erreicht werden. Der wirtschaftliche Wandel ist demnach als innovativer Wettbewerb zu interpretieren, in dem neue Produkte, Produktions- oder Organisationsverfahren im Mittelpunkt stehen.²⁵⁴ Infolgedessen bewirkt der technische Wandel eine ständige Umstrukturierung des Wirtschaftssystems.²⁵⁵

²⁵¹ Vgl.: MAGNUSSON, L. [Economics], S. 1-8 sowie SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung].

SCHUMPETERS Theorie dabei als „biologisch“ oder gar als „darwinistisch“ zu bezeichnen, wäre eine Fehlinterpretation seiner Aussagen. Er selbst lehnt in einem späteren Werk selbst die Verwendung von aus der Biologie bekannter Konzepte in der Ökonomie ausdrücklich ab. Vgl.: SCHUMPETER, J. A.: [History], S. 789. So kann auch dem Urteil von HODGSON über KELM, welcher darstellt, dass eine herausragende Leistung SCHUMPETERS die Betonung der „(...) usefulness of Darwinian theory for economics“ sei, gefolgt werden, der diesem eine Fehlinterpretation SCHUMPETERS unterstellt. Dabei geht HODGSON noch einen Schritt weiter, indem er darlegt, dass „Schumpeter misunderstood Darwinism“. Vgl.: KELM, M. [Darwinian interpretation], S. 106-127 und HODGSON, G. M. [non-Darwinian economics], S. 140-145.

²⁵² Vgl.: WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 19.

Dies ist insofern bemerkenswert, dass das hauptsächliche Untersuchungsziel SCHUMPETERS nicht in der Erklärung der Entstehung von Innovationen bestand, sondern vielmehr die Beschreibung konjunktureller Modelle (Konjunkturzyklen) zum Gegenstand hatte. Dies kommt unter anderem im Vorwort zur ersten Auflage seines grundlegenden Werkes „Zur Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung“ zum Ausdruck. Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung], S. VIIIff.

BOLLMANN betont, dass SCHUMPETERS Überlegungen zu evolutorischen Veränderungen im wirtschaftlichen Prozess, die durch Innovationen hervorgerufen werden, die Grundlage vieler moderner modelltheoretischer Ansätze bilden. Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 43.

²⁵³ Vgl. hierzu vor allem die Ausführungen SCHUMPETERS zum „... Grundphänomen der wirtschaftlichen Entwicklung“. SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung], S. 88 – 139.

²⁵⁴ Vgl.: Kapitel 2.1.

Hier sei auf die zwei Aspekte in SCHUMPETERS Werk verwiesen: Zum einen beschreibt der Autor die Dynamik im Prozess der wirtschaftlichen Entwicklung und legt somit die Grundlage für evolutionsökonomische Analysen, zum anderen jedoch verläuft der von ihm beschriebene Ent-

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Da, nach SCHUMPETERS Überzeugung, Änderungsprozesse nicht vom Konsumenten ausgehen, somit also nicht nachfragebedingt sondern angebotsinduziert sind, stellt der innovative Unternehmer den zentralen Punkt des wirtschaftlichen Geschehens dar. Durch sein wirtschaftliches Handeln, welches nicht nur durch die Gewinnerzielungsabsicht, sondern durch den Willen zu Macht, Prestigebedürfnis und Arbeitsfreude geprägt ist, können neue Kombinationen in der Volkswirtschaft durchgesetzt werden. Hierfür bedarf es nicht des kreativen „Inventors“ oder gar Erfinders als Unternehmenslenker, sondern eines charismatischen „Führertypus“.²⁵⁶ Ihm kommt im wirtschaftlichen Entwicklungsprozess die Aufgabe zu, Hindernisse für solche Unternehmer zu beseitigen, die SCHUMPETERS idealtypischer Unternehmerfigur nur eingeschränkt entsprechen. Barrieren zur Marktakzeptanz von Innovationen können demnach im Neuen per se, im Widerstand bedrohter Gruppen und in der Nicht-Akzeptanz durch die Konsumenten gesehen werden, welche ihre Präferenzstruktur zu Gunsten der Neuerung ändern müssen. Werden die Aspekte, die einen Gegendruck auf die Markteinführung von Innovationen erzeugen, beseitigt, gelingt es, den Pionieren-Unternehmen nachfolgend, „scharenweise“ die neue Kombination am Markt zu platzieren. Die Entwicklung endet mit dem Markteintritt (Innovationsübernahme) des Grenzanbieters. Der Bogen der Unternehmerpersönlichkeiten spannt sich somit vom Innovator hin zum Imitator, wobei

wicklungsprozess in Brüchen. In der Annahme von Sprüngen in der von Pionierunternehmern getriebenen wirtschaftlichen Entwicklung unterscheidet sich SCHUMPETER von MARSHALL, der zu Beginn des Werkes *Principles of Economics* feststellt: „Natura non facit saltum“. MARSHALL, A. [Principles], S. iii.

²⁵⁵ SCHUMPETER selbst fasst seine Theorie wie folgt zusammen: „Wirkung des (...) massenweisen Auftretens neuer Unternehmungen“ (was hier mit der Realisierung neuer „Kombinationen“, somit von Innovationen gleichzusetzen ist) „auf die Lebensbedingungen der alten und auf den eingelebten Zustand der Volkswirtschaft, unter Berücksichtigung der (...) begründeten Tatsache, dass das Neue in der Regel nicht aus dem Alten herauswächst, sondern neben das Alte tritt und es niederkonkurriert und alle Verhältnisse so ändert, dass ein besonderer Einordnungsprozess nötig wird“. SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung], S. 322. Weiterführende gesellschafts- und geschichtstheoretische Begründungen des Wirtschaftsprozesses finden sich bei SCHUMPETER in seinem Werk über „Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie“, welches nach WECKWERTH einen „(...) eindeutigen Einfluss der Rezeption des Marxs Werkes erkennen (...)“ lässt. Vgl.: WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 20. Auch erscheinen die Überlegungen von MARX und jene SCHUMPETERS in der Annahme von radikalen Brüchen in der wirtschaftlichen Entwicklung, bei allen Unterschieden im Ergebnis der jeweiligen Analyse, in einer fundamentalen Annahme deckungsgleich. MARX kann demnach neben der österreichischen Schule als zweite wesentliche geistige Quelle SCHUMPETERS angesehen werden. Vgl.: SCHUMPETER, J. A.: [Kapitalismus] sowie WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 19f. SCHUMPETER selbst bezeichnet MARX, vor allem im Hinblick auf seine nationalökonomischen Arbeiten, als „Genie und einen Propheten“. SCHUMPETER, J. A.: [Kapitalismus], S. 43ff.

²⁵⁶ Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung], S. 126 – 131.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

eine Normalverteilung unterstellt wird.²⁵⁷ Der innovierende Unternehmer erlangt in diesem Prozess einen qualitativen Vorsprung, der ihm eine temporäre Monopolstellung (prozessuales Monopol) einräumt.²⁵⁸ Dies wiederum führt zu einem Anpassungsprozess, infolgedessen der Innovator die erlangte Monopolstellung wieder verliert.²⁵⁹ Ein gewinnloser Zustand ist im zeitlichen Ablauf des Wettbewerbsprozesses im Isopol gegeben (Abbildung 7). Demgemäß kann gefolgert werden, dass Monopole nicht die Ursache, sondern vielmehr die Wirkung von Innovationen, also eines Differenzierungsprozesses, darstellen.²⁶⁰ Hier zeigt sich, dass neben dem tatsächlichen auch potentielle Wettbewerber existieren, welche in einen Markt mit hoher Renditeerwartung eintreten möchten. Wettbewerb ist daher, entgegen der neoklassischen Annahme, nicht durch das tatsächliche Güterangebot gekennzeichnet, sondern auch durch potentielle Marktteilnehmer.²⁶¹ Unternehmen wie Industriezweige, die diesem Wettbewerbsprozess nicht folgen können, werden durch andere Unternehmen und Industrien ersetzt, die mit der Möglichkeit der Realisierung neuer Kombinationen neu entstanden sind. Dieser Prozess der Zerstörung alter und Schöpfung neuer Kombinationen führt jedoch nicht zwangsläufig, entsprechend der neoklassischen Lehre, zu einer Erhöhung des Sozialprodukts, sondern zu einer qualitativen Verbesserung der Volkswirtschaft.²⁶²

²⁵⁷ Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung], S. 334 – 342.

²⁵⁸ Vgl.: HEGNER, S. ; SCHECHLER, J. M. [Internet-Ökonomie], S. 496-499.

²⁵⁹ Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung], S. 209 – 213.

²⁶⁰ Die Diskussion um die sog. Neo-SCHUMPETER-Hypothesen zur Innovationstätigkeit von Großunternehmen bzw. von Neuerungsaktivitäten auf hoch konzentrierten Märkten soll hier nicht geführt werden. Vgl. hierzu: LINDE, R.; ALTENBURG, L. [Monopol], S. 68-74 sowie PFÄHLER, W.; WIESE, H. [Innovationswettbewerb], S. 1031-1038.

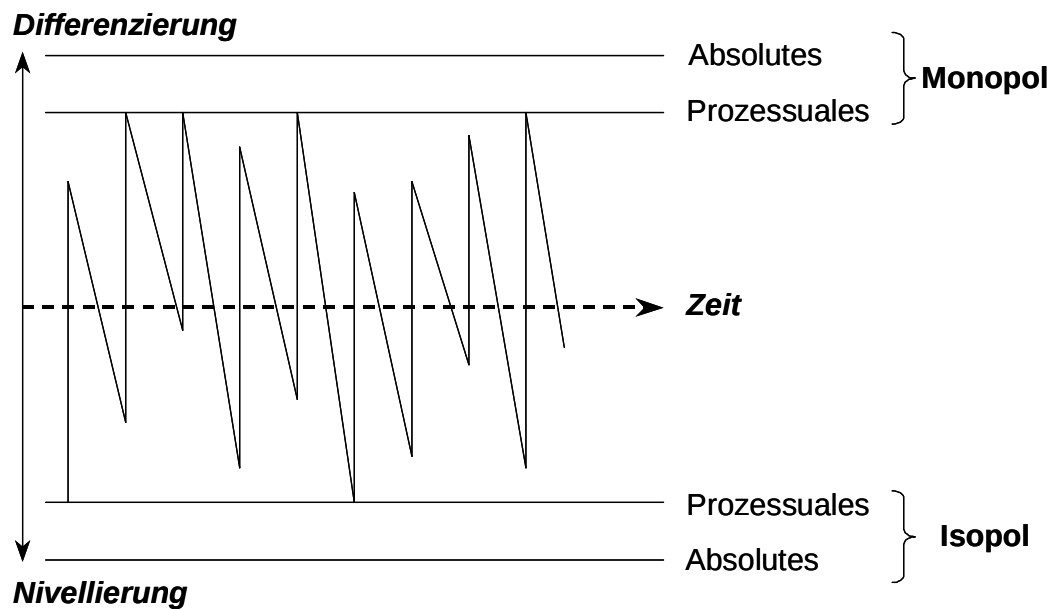
²⁶¹ Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 44.

²⁶² Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung], S. 96.

SCHUMPETER selbst bezeichnet diesen (ewigen) Vorgang der Verdrängungen bisheriger Unternehmen bzw. Industrien durch neue Unternehmen bzw. Industrien als Prozess der „schöpferischen Zerstörung“. Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Kapitalismus], S. 134ff. Er führt aus, dass die Eröffnung neuer Märkte sowie organisatorischer Entwicklungen im Produktionsprozess die Wirtschaftsstruktur unaufhörlich „(...) von innen heraus revolutioniert unaufhörlich die alte Struktur zerstört und unaufhörlich eine neue schafft.“ Dieser Prozess der „schöpferischen Zerstörung“ ist das für den Kapitalismus wesentliche Faktum. SCHUMPETER, J. A.: [Kapitalismus], S. 137f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Abbildung 7: Schema des Wettbewerbsprozesses



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an HERDZINA [Mikroökonomik], S. 170.

Auslöser eines neuen konjunkturellen Zyklus ist ein statischer, gleichgewichtiger und demnach gewinnloser Zustand, der das vermehrte Auftreten von Innovationen bedingt. Wirtschaftsprozesse sind folglich nach SCHUMPETER als Innovationsprozesse zu betrachten.²⁶³ Die Änderungsprozesse können dabei plötzlich auftreten, indem alte Gleichgewichte verlassen werden und kontinuierlich verlaufen, wenn neue Gleichgewichte angestrebt werden.²⁶⁴ Der zyklische Verlauf des wirtschaftlichen Geschehens lässt kein längerfristiges gleichgewichtiges Wachstum zu, was ein weiterer wesentlicher Unterschied der Theorie nach SCHUMPETER zur neoklassischen Lehre darstellt.²⁶⁵

Wesentliche Kritikpunkte an SCHUMPETERS Theorien stellen die Unter- bzw. Falschbewertung von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten, die Konzentration auf die Anbieterseite, die Fokussierung auf radikale und damit einhergehend die Vernachlässigung inkrementeller Innovationen, die Überbetonung des Kredit- und Kapital-

²⁶³ Vor allem hierin zeigt sich nach ROSENBERG die Betonung der Pfadabhängigkeit ökonomischer Prozesse in SCHUMPETERS Werk. Vgl.: ROSENBERG, N. [Exploring], S. 60.

²⁶⁴ Dieser monokausale Zusammenhang zwischen technischem Fortschritt und konjunktureller Entwicklung stellt eine Schwäche der Theorie dar, da noch andere Ursachen der wirtschaftlichen Entwicklung zu Grunde liegen. Hierzu wird weiterführend auf die Erörterung des konjunkturtheoretischen Aspekts der Theorie bei WECKWERTH verwiesen. Vgl.: WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 26f.

²⁶⁵ Vgl.: BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt], S. 49f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

marktes sowie die damit zunächst verbundene Behandlung des Unternehmerrisikos dar. Weiterhin wird die überaus starke Bedeutung des Unternehmens in SCHUMPETERS Theorie kritisiert.²⁶⁶

Exkurs: Die Neo-Schumpeter-Hypothese

Ausgehend von Überlegungen SCHUMPETERS zur Bereitstellung von Innovationen durch Unternehmen,²⁶⁷ wurden von einigen Autoren Zusammenhänge zwischen der absoluten bzw. relativen Unternehmensgröße und der Rate des technischen Fortschritts unterstellt.²⁶⁸

Wie gezeigt werden konnte, ist die Entwicklung von Industrien bei SCHUMPETER einerseits durch die bisherige Entwicklung der etablierten Unternehmen sowie andererseits vom spontanen Verhalten der Unternehmer selbst abhängig, die in Form neuer Unternehmen Innovationen realisieren.²⁶⁹ Beide Unternehmens-Typen weisen dabei hinsichtlich der Einführung von Innovationen sowohl Vor- als auch Nachteile auf. Während neue bzw. kleinere Unternehmen flexibel auf Markteinflüsse reagieren können, verfügen große, etablierte Unternehmen u. a. über bessere Möglichkeiten, die Entwicklung von Innovationen zu finanzieren.²⁷⁰ Die Durchführung von Innovationsprozessen hängt dabei entscheidend von der Verfügbarkeit von Krediten, der Existenz von innovationsbereiten Unternehmerpersönlichkeiten (Pionieren) sowie von Entdeckungen als Grundlage für die Entwicklung von Neuerungen ab. In seinen frühen Arbeiten unterstellt SCHUMPETER, dass alle drei genannten Voraussetzungen für die Überlegenheit neuer Unternehmen grundsätzlich gegeben seien.²⁷¹ Wichtigste Bedingung dabei ist die Verfügbarkeit von Entdeckungen. Hier vertritt SCHUMPETER in seinen frühen Arbeiten die Auffassung, dass stets ein aus-

²⁶⁶ Vgl.: WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 22–32.

²⁶⁷ Die innovationstheoretische Einordnung und weiterführende Bewertung des Modells ist in die Diskussion um den technischen Fortschritt in der neoklassischen Theorie eingebettet und erfolgt dementsprechend in Kapitel 2.5.2.

²⁶⁸ Hier ist insbesondere auf GALBRAITHS Wettbewerbsanalyse (1956) zu verweisen. Vgl.: GALBRAITH, J. K. [Capitalism].

²⁶⁹ Die Bezeichnung „neu“ und „alt“ in der Beschreibung von Unternehmen stellt dabei nicht ursächlich auf das tatsächliche Alter der Unternehmen ab, sondern ist vielmehr ein Ausdruck dafür, ob Unternehmen in der Lage sind sich mittels Innovationen fortlaufend zu erneuern. Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Konjunkturzyklen], S.102f.

²⁷⁰ Zum Verhältnis von Unternehmensgröße und Innovationsverhalten vgl.: WICHER, H. [Innovationsverhalten], S. 237-242.

²⁷¹ Diese Ansichten SCHUMPETERS finden sich vor allem in der „Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung“ (1934) und in seiner Arbeit zu „Konjunkturzyklen“ (1939). Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung] sowie SCHUMPETER, J. A. [Konjunkturzyklen].

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

reichend großes Angebot an Entdeckungen exogen zur Verfügung steht, auf das Unternehmer zur Generierung von Innovationen allzeit zurückgreifen können (Pool an Entdeckungen). Diese Annahme führt dementsprechend zu der These, dass Unternehmen unabhängig von ihrer Größe die gleiche Möglichkeit haben, sich Zugang zu den notwendigen neuen Entdeckungen zu verschaffen. In seiner Analyse kommt SCHUMPETER zunächst zu dem Schluss, dass neue Unternehmen eher in der Lage sind, neue Entwicklungen aufzugreifen und in Form innovativer Produkte am Markt zu platzieren. Die Folge dieser Entwicklung ist eine veränderte Marktstruktur. Zum einen erfolgt ein direkter Struktur-Effekt durch den Zutritt neuer Wettbewerber in den Markt. Eine weitere Veränderung der Marktstruktur resultiert zum anderen aus der verbesserten Wettbewerbsfähigkeit der innovierenden Unternehmen, wodurch es diesen möglich ist, nicht innovierende Unternehmen am Markt zurück zu drängen.²⁷²

Wird eine der oben getroffenen Grundannahmen nicht erfüllt, schwindet die Bedeutung von neuen, d. h. kleinen Unternehmen im Markt. Wird insbesondere unterstellt, dass neue technische Entwicklungen nicht exogen verfügbar sind, sind die Aussagen zur Beziehung von technischem Fortschritt und Marktstruktur zu revidieren. Unter der Annahme, dass der Erwerb von neuem technischen Wissen mit hohen Kosten verbunden ist und Kredite für risikoreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte schwer zu erhalten sind, werden es vorrangig etablierte, d. h. alte und i. d. R. größere bis monopolistische Unternehmen mit spezialisierten Forschungs- und Entwicklungseinheiten sein, die die technische Entwicklung mittels Innovationen vorantreiben. Je kostenaufwendiger aber diese Suchprozesse nach Innovationen sind, desto eher haben große Unternehmen Vorteile im Wettbewerb.²⁷³ Mit der These der Endogenisierung des technischen Fortschritts revidiert SCHUMPETER seine früheren Aussagen und unterstellt nun, dass große Unternehmen - sind ihre Innovationen erfolgreich - umso stärker wachsen können, je mehr finanzielle Mittel sie zur Generierung von Innovationen bereitstellen. Im Hinblick auf die Bewertung von Monopolgewinnen ergibt sich daraus, dass diese nicht nur direkt sondern auch, aufgrund der Steuerung der wissenschaftlich-technischen Entwicklung, indirekt die Marktstruktur beeinflussen. Obgleich SCHUMPETER in seinen späteren Arbeiten gro-

²⁷² Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Konjunkturzyklen], S. 102f.

²⁷³ Vgl.: GERYBADZE A. [Innovation], S. 100ff.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

ße Unternehmen bei der Durchsetzung von Innovationen im Vorteil sieht, wird von ihm dennoch nicht die These aufgestellt, dass Innovationen nur noch auf große Unternehmen beschränkt seien bzw. ausschließlich von Monopol-Unternehmen hervorgebracht werden.²⁷⁴ Die in der Literatur verstreut vorliegende und nicht stringent geführte Argumentation SCHUMPETERS wurde jedoch von seinen Interpreten, insbesondere von GALBRAITH,²⁷⁵ verzerrt und zu Hypothesen zusammengefasst, die fälschlicherweise SCHUMPETER zugeschrieben werden.²⁷⁶

In der sogenannten Neo-Schumpeter-Hypothese I wird ausgehend von der Grundannahme der Endogenisierung des technischen Fortschritts die These formuliert, dass die Effektivität von Forschung und Entwicklung mit der absoluten Unternehmensgröße steigt, da Großunternehmen eher über die notwendigen finanziellen Ressourcen für risikoreiche Innovationen verfügen. Zudem könnten Großunternehmen mehrere Innovations-Projekte gleichzeitig betreiben, was zu einer Risikominimierung führe. Insgesamt wäre in größeren Unternehmen eine bessere Auslastung der Forschungsanlagen gegeben, so dass „economies of scale“ bzw. „scope“ bei der Produktion von Innovationen realisiert werden würden.²⁷⁷ In empirischen Tests konnte jedoch keine eindeutige Bestätigung eines Zusammenhangs zwischen absoluter Unternehmensgröße und Innovationsrate gefunden werden. So ergaben die Untersuchungen des Forschungsinputs (Ausgaben für Forschung und Entwicklung) und des Forschungsausputs (Zahl der Patente), dass mithilfe dieser Variablen nur ein geringer Teil der Varianz der Forschungsaufwendungen durch die Unternehmensgröße erklärt werden kann.²⁷⁸ Wird die Beurteilung der relativen Innovationsbereitschaft von Unternehmen unterschiedlicher Größenklassen anhand

²⁷⁴ Die Gedanken zu dieser jüngeren Sichtweise SCHUMPETERS finden sich u.a. in der Arbeit zum Wettbewerb im Kapitalismus (1950). Vgl.: SCHUMPETER, J. A.: [Kapitalismus].

²⁷⁵ GALBRAITH lehnt das Konzept des vollkommenen Wettbewerbs als unrealistisch ab. So vertritt er die Auffassung, dass Märkte mit unvollkommenem Wettbewerb, und nicht Polypole, grundsätzlich die höchsten Wachstums- und Innovationsraten aufweisen. Daher sieht er auch Vorteile in einer durch Marktkonzentration hervorgerufenen Position der Marktmacht, sofern sie aufgrund der Organisation der Interessen der Marktgegenseite neutralisiert wird. Zur Förderung des technischen Fortschritts fordert Galbraith ferner eine enge Kooperation zwischen Großunternehmen und Staat. Vgl. weiterführend: GALBRAITH, J. K. [Capitalism] sowie GALBRAITH, J. K. [New Industrial State].

²⁷⁶ Einen Überblick zur Entstehung der Neo-Schumpeter-Hypothese gibt GERYBADZE. Vgl.: GERYBADZE, A. [Innovation], S. 99-114.

Zur Einordnung der Arbeiten von GALBRAITH vgl.: MEIER, B. [Galbraith].

²⁷⁷ Vgl.: GERYBADZE, A. [Innovation], S. 99 sowie BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 109.

²⁷⁸ Vgl.: HOCKMANN, H. [Technischer Fortschritt], S. 217.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

des Umfanges des Forschungs- und Entwicklungsaufwandes bzw. der -intensität unter Einbeziehung der Unternehmensgröße (Umsatz- und Vermögenshöhe, Beschäftigtenzahl) durchgeführt, lässt sich sowohl ein positiver, ein unterproportional-positiver als auch ein inverser Zusammenhang zwischen den beiden Größen feststellen.²⁷⁹ So finden sich Hinweise, dass der relative Innovationsaufwand bzw. die Innovationsintensität mit zunehmender Unternehmensgröße ansteigt, dann konstant bleibt und schließlich wieder abfällt. Diese Beobachtung legt zum einen die, in der Literatur umstrittene, Existenz einer Mindestgröße für eine effiziente Innovationsstätigkeit in Unternehmen nahe. Zum anderen kann eine organisatorische Wachstumsschwelle angenommen werden, nach deren Überschreiten keine Notwendigkeit mehr für die Erhöhung des Forschungsinputs vorhanden ist.²⁸⁰ Zur Begründung des Vorliegens einer doppelt geknickten Funktion des Innovationsertrages und einer nur gering ausgeprägten Korrelation zwischen Unternehmensgröße und Innovationsintensität lassen sich neben einer nicht adäquaten Definition der exogenen Variablen auch die steigenden Transaktionskosten in großen Unternehmen („diseconomies of scale“) anführen.²⁸¹

Im Gegensatz zur Neo-Schumpeter-Hypothese I, in welcher auf die absolute Unternehmensgröße abgestellt wird, wird in der Neo-Schumpeter-Hypothese II ein Zusammenhang zwischen den Innovationsaktivitäten und der relativen Unternehmensgröße im Vergleich zum Marktvolumen unterstellt. Danach müssen Unternehmen ex ante über Marktmacht und die Aussicht auf ein zeitlich begrenztes Monopol mit Pioniergewinnen verfügen, um die für Innovationen notwendigen Mittel anzusammeln sowie sich vor raschen Marktzutritten Dritter schützen zu können. Entsprechend dieser Theorie weisen Unternehmen in monopolistischen bzw. oligopolistischen Märkten einen höheren Anreiz zur Innovation auf als Unternehmen, die im vollständigen Wettbewerb miteinander stehen und sich durch eine patentgeschützte Innovation einen Vorteil erkämpfen müssen.²⁸² Auch für diese These kann

²⁷⁹ Vgl.: WICHER, H. [Innovationsverhalten], S. 239.

²⁸⁰ Im Hinblick auf die Existenz von Mindestschwellen bzgl. der Unternehmensgröße für die Durchführung von wirtschaftlich sinnvollen Forschungs- und Entwicklungsprojekten führt BROCKHOFF an, dass in einigen Branchen entsprechende Schwellen nicht nachweisbar seien. Zudem würde ein verstärkter Trend zu Forschungsk Kooperationen evtl. bestehenden Forschungsschwellen entgegenwirken. BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 110f.

²⁸¹ Vgl.: HOCKMANN, H. [Technischer Fortschritt], S. 217.

²⁸² So sieht vor allem GALBRAITH in oligopolistischen Märkten einen hohen Anreiz zur Schaffung von Innovationen. Vgl.: GALBRAITH, J. K. [Capitalism].

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

auf der Basis empirischer Befunde kein eindeutiger Beweis angetreten werden.²⁸³

So ist hier die von ARROW formulierte Kritik als Ausgangspunkt einer intensiven Hypothesendiskussion zu Marktstruktur und Innovationsrate anzuführen, wonach in der Situation des vollständigen Wettbewerbs ein größerer Wettbewerbs- bzw. Innovationsanreiz besteht als im Monopol.²⁸⁴

Eine Berücksichtigung von SCHUMPETERS Ideen findet sich bei PHILIPPS, der auf der Basis von empirischen Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen Marktstruktur und Innovation formuliert.²⁸⁵ PHILLIPS wie auch MANSFIELD unterstellen, dass für jede Branche spezielle exogene wissenschaftlich-technische Rahmenbedingungen existieren, von denen der unternehmensinterne Suchprozess nach Innovationen abhängig ist.²⁸⁶ Herrschen dabei im Markt große Unsicherheiten betreffend der zukünftigen technischen Entwicklung, ergibt sich ein weites Spektrum zwischen erfolgreichen und erfolglosen Unternehmen. So ist es einzelnen Unternehmen möglich, aufgrund der Einführung einer erfolgreichen Innovation hohe Gewinne zu erzielen und somit schneller als der Wettbewerb zu wachsen. Hierdurch wird es erfolgreichen Unternehmen möglich, zusätzliche Mittel zur Generierung von Innovationen einzusetzen und ihren Vorsprung weiter auszubauen. Aufgrund der aufgezeigten Zusammenhänge zwischen Innovationen und Marktstruktur ist die Marktkonzentration um so höher,

- (1) je schneller sich die (exogenen) wissenschaftlich-technischen Rahmenbedingungen verändern,
- (2) je unsicherer das Ergebnis des Innovationsprozesses ist,
- (3) je restriktiver die Zugangsbeschränkungen sind,
- (4) je höher der Anteil der Innovationsaufwendungen des Gewinns ist und

²⁸³ Vgl.: GRUPP, H. [Messung], S. 58.

²⁸⁴ ARROW verkehrt die Neo-Schumpeter-Hypothese in ihr Gegenteil, indem er nachweist, dass in Märkten mit einem vollständigen Wettbewerb ein größerer Innovationsanreiz besteht als in einer hochkonzentrierten, monopolistischen Marktstruktur. Vgl.: Arrow, K. [Economic Welfare], S. 605-625.

ARROWS Überlegungen bleiben jedoch nicht unumstritten, da hier vor allem die interdependenten Beziehungen zwischen der Entstehung von Innovationen und der Marktstruktur unberücksichtigt bleiben. Vgl.: MÜLLER, D. [Innovation], S. 15ff.

²⁸⁵ Vgl.: PHILLIPS, A. [Technology].

²⁸⁶ Vgl.: MANSFIELD, E. [Technological Chance], S. 80f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

(5) je schwieriger die Imitation von Neuerungen ist.²⁸⁷

Die hohe Konzentration innerhalb einer Industrie ist daher weder eine notwendige noch eine hinreichende Bedingung für einen schnellen technischen Wandel.²⁸⁸ Daher kann gefolgert werden, dass Monopole nicht die Ursache sondern vielmehr die Wirkung von Innovationen sind.²⁸⁹

Wird die zeitliche Dimension des Innovationsprozesses in die Analyse mit einbezogen, ist der Frage nach dem optimalen Innovationszeitpunkt nachzugehen. Im Entscheidungskalkül sowohl des etablierten Monopolisten als auch des potentiellen Wettbewerbers ist dabei die Höhe des jeweiligen finanziellen Innovationsanreizes von zentraler Bedeutung. Das Ergebnis des Innovationswettbewerbs kann dabei mit Hilfe des Nash-Gleichgewichts modelliert werden, indem die verschiedenen Reaktionsgeraden der Unternehmen für die jeweils optimalen Innovationsaufwendungen bestimmt werden. Da die theoretische Analyse, wie in Kapitel 2.5.2 gezeigt, für sich gestellt jedoch keine eindeutige Aussage darüber ermöglicht, wer aus dem Innovationswettbewerb als Sieger hervorgeht, sind weitere Variablen in die Analyse mit einzubeziehen.²⁹⁰

Werden die möglichen Gewinnströme des Monopolisten denen des Herausforderers für den Zeitpunkt nach der Innovation gegenübergestellt zeigt sich, dass ein hoher „replacement effect“²⁹¹ aus Sicht des neuen Wettbewerbers die Innovationsanstrengungen stimuliert und die Anstrengungen des Etablierten hemmt bzw. verzögert. Die verzögernde Wirkung fällt umso höher aus, je höher der ursprüngliche Monopolgewinn ist. Hierbei gilt die Prämisse, dass entweder der Etablierte oder der Herausforderer jeweils ausschließlich über die patentierte Technologie verfügen kann. Befinden sich beide Unternehmen jedoch (noch) nicht im Besitz eines neuen technischen Wissens zur Generierung einer Innovation und müssen dieses Wissens zukaufen bzw. selbst entwickeln, ändert sich das Innovationskalkül. Der nun

²⁸⁷ Vgl.: GERYBADZE, A. [Innovation], S. 113.

²⁸⁸ Vgl.: MANSFIELD, E. [Technological Chance], S. 68–71 sowie 93f.

²⁸⁹ Vgl.: PFÄHLER, W.; WIESE, H. [Innovationswettbewerb], S. 1031.

²⁹⁰ Vgl.: Kapitel.

²⁹¹ Der „replacement effect“ beruht auf dem Vergleich der finanziellen Innovationsgewinne des Herausforderers und des etablierten Monopolisten. In einem hohen „replacement effect“ kommt zum Ausdruck, dass der Innovationsgewinn für den Herausforderer höher ist als für den etablierten Monopolisten, da der Etablierte sich lediglich selbst ersetzt, während dessen der Herausforderer durch Innovation selbst zum dominierenden Unternehmen bzw. zum Monopolisten werden kann. Vgl. hierzu weiterführend: ARROW, K. J. [Economic Welfare].

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

relevante „efficiency effect“,²⁹² der durch den Monopolgewinn bzw. die Duopolgewinne nach der Innovation bestimmt wird, bewirkt dabei eine dem „replacement effect“ gegensätzliche Reaktion. Im Falle einer nicht drastischen Innovation, bei der der Cournot-Monopolpreis nach Innovation über den alten Stückkosten liegt, realisiert der Herausforderer einen Duopolgewinn. Fällt hingegen der Cournot-Monopolpreis nach Innovation unter die alten Stückkosten, ist es dem Herausforderer möglich, selbst eine Monopolstellung zu erlangen. Würde hingegen der Monopolist schneller eine Prozessinnovation hervorbringen und durch Patente absichern, könnte der Markteintritt potentieller Wettbewerber verhindert sowie die Monopolrente gesichert und ab dem Innovationszeitpunkt weiter ausgebaut werden. Der finanzielle Innovationsanreiz wird daher für den Etablierten, auch im Vergleich zum Herausforderer, umso höher ausfallen, je größer der Monopolgewinn und je kleiner der Duopolgewinn vermutet wird. Insbesondere für den Fall, dass der Innovationsprozess durch eine große Unsicherheit gekennzeichnet ist, veranlasst die Existenz eines Herausforderers das etablierte Unternehmen dazu die Innovationsanstrengungen zu erhöhen.²⁹³

Die tatsächliche Dominanz des innovationsbeschleunigenden „efficiency effect“ bzw. des innovationsverzögernden „replacement effect“ kann jedoch nicht a priori vorherbestimmt werden und hängt entscheidend von dem kostensenkenden Effekt der Innovation bzw. der Höhe des Innovationsbudgets ab. Das Entstehen einer Innovation ist dabei für den Fall, dass der Monopolist den Patent-Wettbewerb gewinnt, jedoch nicht unbedingt gegeben, da er die Neuerung nicht notwendigerweise am Markt einführen muss und das Patent auch ruhen lassen kann.²⁹⁴

Im Ergebnis ist festzustellen, dass die SCHUMPETER zugeschriebenen Hypothesen über den Zusammenhang zwischen Innovation, Unternehmensgröße und Marktstruktur nicht zwingend aus dessen Arbeiten abgeleitet werden können. Einzig die

²⁹² Zum „efficiency effect“ vgl. weiterführend: GILBERT, R. J.; NEWBERY, D. M. G. [Preemptive Patenting], S. 605-625.

²⁹³ Die Aussagen gelten grundsätzlich sowohl für Märkte im Bertrand- als auch in Cournot-Wettbewerb. Jedoch ist die Zahlungsbereitschaft für den Herausforderer bei einem kollusiven Duopol (BERTRAND) Null, für den Monopolisten positiv. Im Falle eines nicht-kollusiven Duopols (COURNOT) besteht für jeden Wettbewerber eine positive Zahlungsbereitschaft, wobei die des Monopolisten diejenige des Herausforderers übersteigt.

²⁹⁴ Nach GILBERT und NEWBERY kann dieses Verhalten von Unternehmen im Rahmen ihrer Patent-Politik als „patent shelving“ oder „sleeping patents“ bezeichnet werden. Vgl.: GILBERT, R. J.; NEWBERY, D. M. G. [Preemptive Patenting], S. 605-625.

Behauptung eines abnehmenden Innovationsrisikos unter dem Einfluss von Marktmacht kann auf das Werk SCHUMPETERS zurückgeführt werden.²⁹⁵ Nicht zuletzt die Arbeiten von PHILIPPS, MANSFIELD und ARROW²⁹⁶ haben gezeigt, dass die Neo-Schumpeter-Hypothesen weder theoretisch begründet noch empirisch abgesichert sind.

c.) Weiterentwicklung und neuere Forschungsansätze

Aus Sicht der evolutorischen Theorie bleiben die Überlegungen SCHUMPETERS unvollständig, da keine schlüssigen Aussagen zur Entstehung von Innovationen getroffen werden. Gleiches gilt für den Ablauf des Selektionsprozesses. Dennoch beeinflusste die Lehre SCHUMPETERS wesentlich die Forschungsansätze der evolutorischen Ökonomik.²⁹⁷ So beruhen die in erster Linie durch die Arbeiten von ARNDT²⁹⁸ und HEUB begründeten Forschungsansätze zu Marktevolution bzw. Produktlebenszyklen und die auf biologische Analogien basierenden Theorien von ALCHIAN²⁹⁹ so-

²⁹⁵ Vgl.: GRUPP, H. [Messung], S. 58.

²⁹⁶ GRUPP vertritt hier einen gegenteiligen Standpunkt. Zwar würdigt er die treffende Analyse der Zusammenhänge zwischen in Arrows Ansatz, bemängelt aber zugleich, dass das Modell den Wettbewerb durch Innovationen und neuen Produkten und Qualitäten nicht erfasst, wodurch das Modell in neoklassischer Tradition auf die Parameter Menge und Preis beschränkt bleibe. Vgl.: GRUPP, H. [Messung], S. 59.

In der hieraus abgeleiteten Aussage, dass somit von einer Widerlegung der Schumpeter-Hypothese nicht gesprochen werden kann irrt m. E. GRUPP, da die Kernaussage der Schumpeter-Hypothese, nämlich die positive Korrelation zwischen Marktkonzentration und Innovation, von ARROW widerlegt werden konnte.

²⁹⁷ In diesem Zusammenhang sei auf die Arbeiten von HAYEKS und KIRZNERS als Vertreter der späten österreichischen Schule nach SCHUMPETER verwiesen.

In seinen Arbeiten lehnt VON HAYEK die Erklärung und Prognose von sozioökonomischen Entwicklungen mittels der Innovationstheorie ab. VON HAYEK versucht, die Evolutionstheorie der Biologie und die Entwicklung der Sozialwissenschaften - und somit auch der Gesellschaft - miteinander zu verbinden. Vgl.: VON HAYEK, F. A. v. [Werte], S. 38-70 sowie HENNECKE, H. J. [Hayek], S. 361-382.

Die von VON HAYEK beschriebene Gruppenselektion stellt eine biologische Metapher dar, ist aber nach SÖLLNER in einem im ganzen inkonsistenten Theoriegebäude eingegliedert. VON HAYEKS Überlegungen finden ihre Weiterentwicklung in der evolutorischen Spieltheorie. Vgl.: SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens], S. 307.

Auch KIRZNERS Modell zum monopolistischen Wettbewerb, dem eine besondere Betonung der Unvollkommenheit von Information zu Grunde liegt, misst der Rolle von Innovationen keine herausragende Bedeutung zu. Vgl.: KIRZNER, I. M. [Market Theory], S. 112-116 und 258f, KIRZNER, I. M. [Competition], S. 88-134 sowie WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 36 – 38.

Die Rezeption der Ergebnisse der österreichischen Schule, vor allem der Gedanken von VON HAYEKS und KIRZNERS, münden in erster Linie in der Kritik der mit dem geringen Formalisierungsgrad verbundenen schlechten Überprüfbarkeit der Modelle sowie in dem nur in Ansätzen geleisteten Beitrag zur langfristigen Prognose der wirtschaftlichen Entwicklung. Vgl.: HODGSON, G. M. [Economic Theory], S. 112f.

²⁹⁸ Vgl.: ARNDT, H. [Schöpferischer Wettbewerb].

²⁹⁹ Vgl.: ALCHIAN, A. A. [Uncertainty], S. 211-221.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

wie NELSON und WINTER³⁰⁰ auf den von SCHUMPETER beschriebenen dynamischen Aspekten der ökonomischen Entwicklung. HEUß differenziert, aufbauend auf der Theorie der Marktevolution von ARNDT sowie den Beiträgen von ABRAMOVITZ³⁰¹ zu Konjunktur- und Branchenzyklen, als Ergebnis seiner Überlegungen zum Lebenszyklus von Produkten das SCHUMPETERISCHE Modell der Unternehmercharaktere entsprechend der zeitlichen Marktentwicklung von Produkten in seinem Marktentwicklungsmodell in vier Phasen (Abbildung 8) als „Spiegelbild zu dem in ihm wirkenden Unternehmen“.³⁰² Der Markt-Einführungsphase, die durch Pionierunternehmer geprägt ist, folgt demnach die Expansionsphase, welche hohe Wachstumsraten sowie eine hohe Wettbewerbsintensität aufweist. Spontan imitierende Unternehmen führen in dieser Phase Produkte ein und sind durch Rationalisierungsmaßnahmen gekennzeichnet. In der zeitlichen Ausreifungsphase stehen den auf den Markt hinzutretenden, unter Druck reagierenden Unternehmen bei nunmehr rückläufigen Wachstumsraten kleine Handlungsspielräume zur Verfügung. In der Stagnations- und Rückbildungsphase verdrängen neue Produkte die alten. Pionierunternehmen haben sich neuen Produkten bzw. Märkten zugewandt, während immobile Unternehmen weiterhin im Markt verharren.³⁰³ Die jeweilige Marktphase ist ursächlich für Wettbewerbsintensität und demzufolge für die Höhe der Markteintrittsbarrieren.³⁰⁴ Insofern stellt die Arbeit von HEUß eine Erweiterung der Theorie SCHUMPETERS vor allem um Diffusionsaspekte dar, indem er den Unternehmerbegriff SCHUMPETERS wesentlich weiter differenziert.

Die HEUßSCHE verhaltensorientierte Unternehmer-Typologie führt folgerichtig zur psychologischen Theorie des Unternehmers. So hebt FEHL in einer auf den Arbeiten von HEUß und RÖPKE basierenden Analyse über Unternehmertypen und Marktanalyse auf die individuellen Handlungsstrukturen von Unternehmerpersönlichkeiten ab, die von personalen Eigenschaften motiviert sind. In seiner Betrachtung be-

³⁰⁰ NELSON und WINTER verfassten mit ihrem 1982 erschienenen Werk „An evolutionary theory of economic change“ einen heftig diskutierten Beitrag, der jedoch gleichsam den Durchbruch der evolutionären Ökonomie darstellt. Neben der Arbeit von HERBERT SIMON wird von beiden vor allem die Theorie SCHUMPETERS als Grundlage ihrer Überlegungen herausgestellt. Vgl.: NELSON, R., WINTER, S. [Evolutionary theorie], S. ix.

³⁰¹ Vgl.: Abramovitz, M. [Trends], S. 5-23.

³⁰² Vgl.: HEUß, E. [Markttheorie], S. 14.

³⁰³ Vgl.: HEUß, E. [Markttheorie], S. 30-85.

³⁰⁴ Vgl.: GRAUMANN, M. [Wettbewerbstheorie], S. 660.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

tont er zum einen die Kompetenz³⁰⁵ des Individuums, Handlungsmöglichkeiten in der Auseinandersetzung mit der Umwelt zu entdecken. Zum anderen weist er auf die individuelle Motivation, somit auf die Art und Weise hin, wie Kompetenzen zur Realisierung von gewählten Zielen mobilisiert werden.³⁰⁶

Bei leistungs- bzw. erfolgsorientiertem Individualverhalten lässt sich eine Kausalbeziehung zwischen eigener Anstrengung und Handlungserfolg herstellen (Leistungsmotivation), welche zu einer spezifischen Auswahl von Handlungsmöglichkeiten führt. Leistungsmotivierte Personen mit einer außerordentlich hohen Kompetenz können somit als Pionierunternehmer und solche mit einer eher überdurchschnittlichen Kompetenz als spontan imitierende Unternehmer identifiziert werden.³⁰⁷ Entscheidend für die am unterschiedlichen Niveau der Kompetenz sich orientierenden Typenbildung ist daher der Gesichtspunkt, dass sich Unternehmer unterschiedlicher Kompetenz unterschiedlich schwierigen Aufgaben am Markt stellen.³⁰⁸

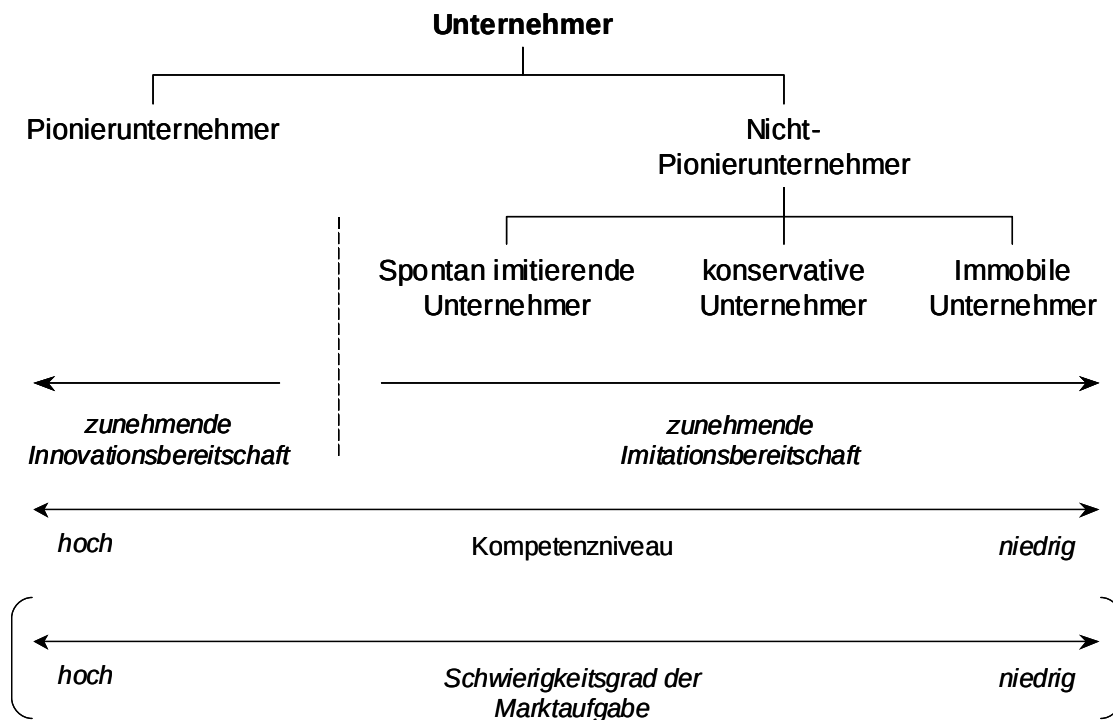
³⁰⁵ Hierbei wird unter dem Begriff der Kompetenz in erster Linie nicht „Intelligenz“, sondern Vorstellungsvermögen, Phantasie, Intuition, Durchsetzungsvermögen u. ä. verstanden. Vgl.: FEHL, U. [Unternehmenstheorie], S. 26.

³⁰⁶ Vgl.: FEHL, U. [Unternehmenstheorie], S. 20.

³⁰⁷ Vgl.: FEHL, U. [Unternehmenstheorie], S. 25-27.

³⁰⁸ In der Realität kann hier das Problem der Zuordnung von Grenzfällen bestehen. Dies vor allem vor dem Hintergrund, dass die Bildung diskreter Typen auf der Basis eines Kontinuums des Kompetenzniveaus definitorischer Natur ist und sich an analytischen Zweckmäßigkeiten orientieren muss.

Abbildung 8: Unternehmertypen



Quelle: Eigene Darstellung nach HEUß, E. [Markttheorie], S. 9-14 sowie FEHL, U. [Unternehmertheorie], S. 17-37.

Die in Abbildung 8 aufgezeigte Zuordnung darf nicht zu starr interpretiert werden.³⁰⁹ So kann das Kompetenz-Niveau einer Person (eines Unternehmens), aus der Motivationstheorie heraus erklärt, aufgrund von Erfahrungen im Zeitablauf nicht als konstant angesehen werden.³¹⁰ Diese zeitpunktbezogene Betrachtung entspricht der Unternehmer-Typologisierung von HEUß, welcher einen Wandel des Unternehmer-Typus im Laufe der Marktentwicklung unterstellt. So kann derselbe Unternehmer, je nach seiner individuellen Erfolgsentwicklung, zu verschiedenen Zeitpunkten einem unterschiedlichen Unternehmer-Typus zugeordnet werden.³¹¹ Aufgrund dieser Zeitpunkt-Betrachtung zeigt sich, dass die HEUßSCHE Unternehmer-Typologie aus der Leistungsmotivationstheorie heraus entwickelt werden kann und sich infolgedessen unabhängig von der Marktphasen-Theorie formulieren lässt.³¹² Diese

³⁰⁹ Auch ist hier keine allgemeingültige Typologie beschrieben. Die Analyse beschränkt sich ausschließlich auf die Untersuchung der Beziehung zwischen Unternehmer und Markt, somit auf Marktprozesse. Vgl.: Heuß, E. [Markttheorie], S. 10.

³¹⁰ Vgl.: FEHL, U. [Unternehmenstheorie], S. 22-25.

³¹¹ Vgl.: HEUß, E. [Markttheorie], S. 10ff sowie vgl.: FEHL, U. [Unternehmenstheorie], S. 28ff.

³¹² Vgl.: FEHL, U. [Unternehmenstheorie], S. 30ff.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Nicht-Kausalität gilt auch für den retrograden Fall, da die Marktphasen von der Nachfrageseite bestimmt werden. Dennoch spricht einiges dafür, dass die unterschiedlichen Marktphasen bei einem jeweils einheitlichen Kompetenzniveau der Unternehmer von einem vorherrschenden Unternehmer-Typus geprägt sind.³¹³

Voraussetzung für die Ableitung dieser unterstellten Beziehung ist dabei die Annahme, dass eine tendenzielle Abnahme des Aufgabenschwierigkeitsgrades im Zeitablauf der Marktentwicklung vorliegt. Diese grundsätzliche Abnahme des Schwierigkeitsgrades der Marktaufgabe kann jedoch durch den Markteintritt initiativer Unternehmer unterbrochen bzw. wieder in eine zeitweilige Erhöhung des Schwierigkeitsgrades umgeformt werden.

Die von HEUß propagierte verhaltensorientierte Unternehmer-Typologie führt in der von ALCHIAN evolutorisch begründeten gewinnmaximierenden Verhaltensannahme von Unternehmen zu einem deutlich stärkeren Analogieschluss zwischen Biologie und Ökonomie als bei HEUß. In der von ihm entworfenen Theorie handeln Unternehmen unter dem Eindruck unvollkommener Information, wodurch gewinnmaximales Verhalten nicht möglich bzw. rein zufällig sei. Das Verhalten der Unternehmen folgt einem evolutorischen Prozess, indem erfolgreiche Verhaltensweisen imitiert werden und sich somit durchsetzen. Innovationen entstehen nach dieser Erklärung des wirtschaftlichen Geschehens durch Ausprobieren oder fehlerhafte Imitation.³¹⁴

Das Fehlen einer die Entwicklung stabilisierenden Verhaltensweise, somit einer Verhaltenskonstanz (Gene) in ALCHIANS Modell wird von NELSON und WINTER kritisiert. Sie zeigen ein behavioristisches Verhaltensmodell auf, bei welchem organisatorische Routinen das Verhalten eines Unternehmens charakterisieren. Dabei setzen sich erfolgreiche Routinen, welche in Folge eines ständigen Überprüfens (Mutation) der Umwelt angepasst werden, durch. Explizit stellen NELSON und WINTER in der Analyse der Wettbewerbsmechanismen auf den von SCHUMPETER beschriebenen dynamischen Innovationswettbewerb ab.³¹⁵

Die evolutorische Ökonomie wird von ihren Protagonisten, vor allem aus der österreichischen Schule, als ein Gegenentwurf zur technisch-physikalisch geprägten neoklassischen Ökonomie verstanden. Dabei wird die neoklassische Theorie nicht

³¹³ Vgl.: FEHL, U. [Unternehmenstheorie], S. 32ff.

³¹⁴ Vgl.: ALCHIAN, A. A. [Uncertainty], S. 220 sowie weiterführend: ALCHIAN, A. A.; ALLEN, W. R. [Exchange and Production].

³¹⁵ Vgl.: NELSON, R.; WINTER, S. [Evolutionary theory], S. 273–351.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

von allen Vertretern der evolutorischen Ökonomik prinzipiell abgelehnt. So etwa integrieren NELSON und WINTER orthodoxe, neoklassische Aussagen in ihre Überlegungen, halten sie aber im Ganzen dennoch für unrealistisch.³¹⁶ Auch wird im Begriff der „spontanen Ordnung“ von VON HAYEK³¹⁷ in der Literatur der Ausgangspunkt der Zusammenführung von neoklassischer und evolutorischer Ökonomik gesehen.³¹⁸

2.5.3.2 Eigenschaften evolutorischer Modelle in der Ökonomie

Für die auf den vorangestellten Überlegungen zur evolutorischen Ökonomik basierenden evolutionsökonomischen Modelle können insgesamt folgende grundlegende Eigenschaften aufgeführt werden, wobei nachfolgend der Schwerpunkt der Betrachtung auf der behavioristischen Evolutionstheorie nach NELSON und WINTER liegt.³¹⁹

1. Dynamisches Lernen

Ziel evolutorischer Modellansätze ist es, ein Phänomen mithilfe seiner zeitlichen Entwicklung zu erklären. Der Ansatz ist ausdrücklich dynamisch und ergebnisoffen, wobei die betrachtete Dynamik nicht als ein bloßer Anpassungsvorgang an exogene Veränderungen zu verstehen ist, sondern endogen generiert wird.³²⁰ Hierzu werden Übergangswahrscheinlichkeiten stochastischer Prozesse betrachtet. Zufall und zielgerichtetes Handeln können eine Variation in den betrachteten Variablen hervorrufen. Dies bedeutet, dass hier Prozesse des nicht-optimalen fehlerbehafteten Lernens und Entdeckens sowie Selektionsmechanismen unterstellt werden.³²¹ Dabei passt sich das Modell in einem Versuchs-Irrtums-Prozess der Realität an.

2. Mikroökonomische Fundierung

Die evolutorische Ökonomik ist mikroökonomisch fundiert und basiert demzufolge auf den Entscheidungen und dem Verhalten von einzelnen Unternehmern.³²² Die Heterogenität der Ideen und Verhaltensweisen der einzelnen Akteure stellt folglich,

³¹⁶ Vgl.: NELSON, R.; WINTER, S. [Evolutionary theorie], S. 399ff.

³¹⁷ Vgl.: HAYEK, F. A. v. [Ordnung], S. 102-113 sowie HAYEK, F. A. v. [Phänomene], S. 281-306.

³¹⁸ Vgl.: ERDMANN, G. [Evolutorische Innovationstheorie], S. 6.

³¹⁹ Vgl.: NELSON, R.; WINTER, S. [Evolutionary theorie], S. 6-11.

³²⁰ Vgl.: SÖLLNER, F. [Ökonomisches Denken], S. 305-306.

³²¹ Vgl.: DOSI, G.; ORSENIGO, L. [Coordination and transformation], S. 25-27.

³²² Vgl.: LUNDVALL, B.-A. [Innovation], S. 348-359.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

im Gegensatz zu Modellansätzen mit der Betrachtung repräsentativer Unternehmer, ein wesentliches Merkmal der evolutorischen Ökonomik dar. Folglich lässt sich begründen, dass keine Aussagen über generelle Motivationen und Handlungsweisen getroffen werden können.³²³ Diese nicht aggregierte Betrachtung einzelner Unternehmer macht eine umfangreiche empirische Fundierung der Modelle unabdingbar.³²⁴

Für den betrachteten Akteur wird das Konstrukt des homo oeconomicus, der uneingeschränkt rational und mit vollkommener Information ausgestattet ist, abgelehnt.³²⁵ Aus dieser Kritik heraus stützt sich die evolutorische Ökonomik auf das Modell eines durch eine nur beschränkte Rationalität gekennzeichneten Akteurs, der unter Unsicherheit handelt.³²⁶ Dieser versucht die Beschränkungen, denen sein wirtschaftliches Handeln unterliegt, zu verändern, um so für sich bessere Lösungen zu erzielen. Das individuelle Verhalten stellt einen Such- und Lernprozess dar, bei dem eine Optimierung nicht mehr möglich ist. Als Suchfunktion entwickeln hier die ökonomischen Akteure sogenannte Routinen.³²⁷ Diese werden im zeitlichen Ablauf erst dann verändert, wenn ihr ökonomischer Erfolg unter ein bestimmtes Anforderungsniveau sinkt. Auf diese Weise wird die Einkommens- oder Gewinnmaximierung des homo oeconomicus durch das Prinzip des satisfying ersetzt, also einem Konzept, das auf ein bestimmtes Zufriedenheitsniveau abzielt.³²⁸ So kann RIZZELLO gefolgt werden, der bzgl. der Mikrofundierung einen deutlichen Subjektivismus sowie eine psychologische Komponente herausstellt.³²⁹

³²³ Vgl.: LIPPI, M. [On the dynamics of aggregate macroequations], S. 170-175.

³²⁴ Überlegungen zur empirischen nicht aggregierten Wachstumstheorie fanden bereits in den zwanziger und dreißiger Jahren statt und wurden unter anderem von SCHUMPETER vertreten. Mit der Hinwendung zu makro-basierten Modellen im Zuge der „Keynsianischen-Revolution“ wurden jedoch diese Ansätze zurückgedrängt. Vgl.: METCALFE, J. S. [Knowledge of growth], S. 10.

³²⁵ Dies bedeutet in Bezug auf den technischen Fortschritt, dass eine Berechnung von optimalen Innovationsstrategien aus den ex ante ungewissen Entstehungen von Innovationen unmöglich ist. Vgl.: DOSI, G. [innovative process], S. 222.

³²⁶ Vgl.: NELSON, R.; WINTER, S. [Evolutionary theorie], S. 35.

³²⁷ Es handelt sich hierbei um Verhaltensweisen, die sich im Zeitablauf kaum verändern, die einfach konstruiert sind und in denen sich die kumulierte Erfahrung der Vergangenheit widerspiegelt. Vgl. NELSON, R.; WINTER, S. [Evolutionary theory], S. 96-99. DE PAY lehnt in ihrer Arbeit zum Informationsmanagement von Innovationen in Unternehmen evolutionsökonomische Ansätze ab, da sich Kundenimpulse für Innovationsprozesse nicht routinisieren lassen. Vgl.: DE PAY (Informationsmanagement), S. 15.

³²⁸ Vgl.: CORICELLI, F.; DOSI, G. [economic change], S. 124-129.

³²⁹ Vgl.: RIZZELLO, S. [Microfoundations], S. 104 – 112.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

3. Pfadabhängige Strukturbildung und Innovationsentscheidungen

Auf der Grundlage der beschriebenen Heterogenität treten im zeitlichen Prozess Handlungsalternativen in Beziehung. Diese können zum einen nebeneinander bestehen oder sich gegenseitig verdrängen. Hierbei kann ein irreversibler Selektionsprozess angenommen werden, wie er im Rahmen der Diffusion von neuen Produkten auftritt. Die analytische Grundlage dieses Selektionsmechanismus bildet die sogenannte Replikatordynamik.³³⁰ Veränderungen sind demnach abhängig von der Fitness eines Replikators gegenüber der Fitness konkurrierender Replikatoren. Fitness kann dabei durch die Kosten der Produktion, durch Qualitätsmerkmale des Angebots oder die Häufigkeit der Adoption bestimmt sein. Die Höhe der Replikatordynamik ist somit ein Ausdruck für die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens und gibt daher Auskunft über die Überlebensfähigkeit im Selektionsprozess aufgrund einer im Vergleich höheren Effizienz. Der Replikatormechanismus kann aber nicht garantieren, dass der Selektionsprozess auch zu einer effizienten Lösung führt. Vielmehr hängt dies vom Startpunkt und damit von der Ausgangssituation beziehungsweise von Zufallseinflüssen ab. Als Ergebnis kann sich eine stabile Marktaufteilung finden, in welcher sich ein Strukturgleichgewicht einstellt. Hierbei sind Prozesse relevant, die zielgerichtet ablaufen.³³¹ Auch ohne den Eingriff des Experimentators können somit Strukturen aufgebaut werden.

Innovationen sind in evolutischen Modellen neben dem Zufall auf das zielgerichtete Handeln von Akteuren zurückzuführen. Innovationsaktivitäten werden im Erklärungsmodell des satisfying behaviour dann entfaltet, wenn der gegenwärtige Zustand keinen zufriedenstellenden Erfolg mehr aufweist. Entsprechende Routinen werden dann geändert oder gar verworfen und durch neue ersetzt.³³² Hierbei spielen Erfahrungen aus der Vergangenheit sowie die Beobachtung der eigenen Umwelt und damit die Imitation und das Lernen eine Rolle, wodurch die zukünftigen Neuerungsaktivitäten in die Entscheidungsfindung einfließen. Fortschritt muss

³³⁰ Ein Replikator stellt ein elementares, im Ausbreitungszusammenhang auftretendes Muster (Strategie) einer evolutischen Entwicklung dar. Die Konkurrenz unterschiedlicher Strategien (Replikatoren) kann als Spiel (Evolution) verstanden werden und findet in der Replikatorgleichung ihren Ausdruck. Vgl.: WEIBULL, J. [Evolutionary game theory], S. 69.

³³¹ Vgl.: SÖLLNER, F. [Ökonomisches Denken], S. 326-328.

³³² Vgl.: Erdmann, G. [Evolutionäre Innovationstheorie], S. 122-123.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

demnach als endogener Faktor verstanden werden. Das Prinzip der Pfadabhängigkeit bestimmt hier die Entwicklungen.³³³

Je nachdem, ob nun Unternehmen technologischen Fortschritt durchführen, nimmt die Heterogenität innerhalb des Sektors zu beziehungsweise ab. Darüber hinaus ist eine Zunahme der Heterogenität auch durch den Zutritt neuer Unternehmen - und so neuer Produktionstechnologien - vorstellbar. In dem Maße wie die erzielten Profite dann das diesbezügliche Anspruchsniveau der Unternehmen übersteigen, lassen Neuerungs-Aktivitäten nach. Zusätzlich kann man auch feststellen, dass in dem Maße, wie sich die technologischen Opportunitäten einer Basisinnovation erschöpfen, die Innovationserfolge immer weniger wahrscheinlich werden.³³⁴

Die hier diskutierten modelltheoretischen Anforderungen sind in anwendungsorientierten Ansätzen jedoch nicht immer in gleicher und befriedigender Weise umzusetzen.

2.6 Ausbreitung und Übernahme von Neuerungen

2.6.1 Der Innovationsbegriff

Die Behandlung des Innovationsbegriffs in der innovationstheoretischen Literatur ist, wie in Kapitel 2.5.1 bereits aufgezeigt, weder von einer klar umschriebenen Definition geleitet noch liegt eine allgemein akzeptierte Begriffsdefinition vor.³³⁵ Es zeigt sich, dass das Phänomen der Innovation Forschungsgegenstand unterschiedlichster wissenschaftlicher Disziplinen ist, aufgrund dessen, je nach Standpunkt und Fragestellung, dabei ökonomische, technologische, organisatorische, soziologische oder psychologische Aspekte im Vordergrund der Betrachtung stehen. So ist, ausgehend von den oben dargelegten definitorischen Ansätzen, der Innovationsbegriff entsprechend der Breite seiner wissenschaftlichen Betrachtung präzise zu bestimmen.

SCHUMPETER spricht zunächst von der Durchsetzung neuer Kombinationen, wo-

³³³ Vgl.: DE ARAUJO, J. [Technology diffusion], S. 89-91.

Zur Pfadabhängigkeit von technischem Fortschritt und wirtschaftlicher Entwicklung vgl.: ROSENBERG, N. [Exploring], S. 9-23.

Zu evolutorischer Ökonomie und Pfadabhängigkeit vgl.: MAGNUSSON, L.; OTTOSSON, J. [Introduction], S. 1-9.

³³⁴ Vgl.: SAVIOTTI, P. [Variety], S. 172-208. Mit einer ähnlichen Begründung lassen sich auch Produkt- und Industrielebenszyklen interpretieren.

³³⁵ Vgl.: Kapitel 2.5.1.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

durch die folgenden fünf Fälle abdeckt werden.³³⁶

- (1) Herstellung eines neuen, d. h. dem Konsumentenkreis noch nicht vertrauten Gutes oder einer neuen Qualität eines Gutes.
- (2) Einführung einer neuen, d. h. dem betreffenden Industriezweig noch nicht praktisch bekannten Produktionsmethode, die keineswegs auf einer wissenschaftlich neuen Entdeckung beruhen muss.
- (3) Erschließung eines neuen Absatzmarktes, d. h. eines Marktes.
- (4) Eroberung einer neuen Bezugsquelle von Rohstoffen oder Halbfabrikaten.
- (5) Durchführung einer Neuorganisation, wie Schaffung einer Monopolstellung (z. B. durch Vertrustung) oder Durchbrechen eines Monopols.

In der nach-SCHUMPETERISCHEN Literatur werden die genannten fünf Varianten „neuer Kombinationen“ in den beiden Kategorien Prozessinnovationen und Produktinnovationen zusammengefasst.³³⁷ Eine klare Trennung zwischen beiden Innovationsformen ist dabei jedoch nicht möglich, da durch eine verbesserte Technologie auch die Produktqualität steigt.

Prozessinnovationen stellen neuartige Faktorkombinationen dar, durch welche es möglich ist, die Produktion eines bestimmten Gutes kostengünstiger, qualitativ hochwertiger und schneller zu gestalten. Dies bedeutet jedoch nicht, dass der Begriff der Prozessinnovation mit dem Begriffsinhalt des in Abbildung 9 dargestellten Innovationsprozesses gleichzusetzen ist.³³⁸ Prozessinnovationen verbessern die Technologie einer Unternehmung und somit die Kostenstruktur. Aus der dadurch nach rechts verschobenen Angebotskurve resultiert eine Verbesserung im Ange-

³³⁶ Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung], S. 100ff.

³³⁷ Vgl.: Europäische Kommission [Grünbuch], S. 12f.

Eine klare Trennung zwischen beiden Innovationsformen ist dabei jedoch nicht möglich, da durch eine verbesserte Technologie auch die Produktqualität steigt. Vgl.: VOSSKAMP, R. [Innovationen], S. 54.

³³⁸ Diese Darstellung der Innovation als komplexe Aktivität zur Generierung von Innovation wird von MOHR zurecht als „unbrauchbar“ abgetan, obgleich dieser Innovationsansatz in der Literatur zum Innovationsmanagement immer wieder aufgegriffen wird. Vgl. exemplarisch: HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 6, THELER, C. [Innovationsmanagement], S. 6f. sowie VOSSKAMP, R. [Innovationen], S. 52f.

In der Literatur wird in diesem Zusammenhang eine Unterscheidung zwischen Innovation im engeren Sinne (Produkt- und Prozessinnovationen, sog. „objektbezogener Innovationsbegriff“) und Innovationen im weiteren Sinne (Innovationsprozess, sog. „prozessualer Innovationsbegriff“) unterschieden. Vgl.: BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 35-47 sowie MEISNER, W. [Innovation], S. 16-21.

botsverhalten.³³⁹

Produktinnovationen können grundsätzlich in unterschiedlichen Varianten auftreten. Zum einen können Produktinnovationen neue Märkte schaffen (Theorie der Marktevolution nach HEUß).³⁴⁰ Zum anderen kann es sich bei Produktinnovationen um Qualitätsverbesserungen handeln.³⁴¹ Durch Produktinnovationen wird nicht der Kombinationsprozess der einzelnen Produktionsfaktoren, sondern vielmehr der Verwertungsprozess am Markt berührt. Hier werden dem Nachfrager neuartige Leistungen angeboten, die es erlauben, neue Bedürfnisse zu erfüllen bzw. bekannte Bedürfnisse auf neuartige Weise zu erfüllen. Im Vergleich zu Prozessinnovationen, die in der Regel nur einen innerbetrieblichen Aspekt verfolgen und sich hier durchsetzen müssen (sofern das Vertreiben von Prozessen nicht zum Leistungszweck der Unternehmung gehört), müssen sich Produktinnovationen am Markt durchsetzen.³⁴²

Im Rückgriff auf den Ansatz SCHUMPETERS bzw. auf die Kategorisierung in Prozess- und Produktinnovationen sind in der Literatur verschiedenste Definitionen zum Innovationsbegriff entwickelt worden. Einen allgemeinen Überblick über die verwendeten definitorischen Ansätze gibt HAUSCHILDT.³⁴³ Demnach können Innovationen zweckmäßig nach dem Ausmaß der Neuartigkeit (u. a. BARNETT), der Wahrnehmung der Neuigkeit (u. a. ROGERS), der Erstmaligkeit der Neuigkeit (u. a. SCHMOOKLER 1966), der Erstmaligkeit einer Ziel-Mittel-Kombination (PFEIFFER/STAUDT) und nach dem Verwertungsbezug (u. a. BROCKHOFF) eingeordnet werden.³⁴⁴

HAUSCHILDT erarbeitet hieraus vier Dimensionen zur Bestimmung des Innovationsbegriffs bzw. des Innovationsgehaltes einzelbetrieblicher Entscheidungs- und

³³⁹ Vgl.: VOßKAMP, R. [Innovationen], S. 54f.

³⁴⁰ Vgl.: HEUß, E. [Markttheorie] sowie Kapitel 2.5.3.1.

³⁴¹ Nach VOßKAMP handelt es sich bei den meisten Produktinnovationen „lediglich“ um Qualitätsverbesserungen. Vgl.: VOßKAMP, R. [Innovationen], S. 54f.

³⁴² Vgl.: HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 9.

³⁴³ Vgl.: HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 5f.

³⁴⁴ Vgl.: BARNETT, H. G. [Innovation], ROGERS, E. M. [Diffusion] und ROGERS, E. M.; SHOEMAKER, F. F. [Communication], SCHMOOKLER, J. [Invention], PFEIFFER, W.; STAUDT, E. [Innovation] sowie BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung].

Eine auch von HAUSCHILDT angeführte Einordnung nach dem Prozessaspekt (Gleichsetzung von Innovation und Innovationsprozess) soll hier der Vollständigkeit halber erwähnt werden, obgleich dieser Ansatz vom Autor als nicht geeignet angesehen wird. Vgl.: HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 6.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Durchsetzungsprobleme:³⁴⁵

- (1) Die inhaltliche Dimension: Was ist neu?
- (2) Die prozessuale Dimension: Wo beginnt und wo endet die Neuerung?
- (3) Die subjektive Dimension: Neu für wen?
- (4) Die normative Dimension: Ist neu gleich erfolgreich?

Die ersten drei Kategorien stellen dabei auf die inhaltliche bzw. die räumlich-zeitliche Abgrenzung des Innovationsbegriffs ab und spiegeln so die bereits angeführten Definitionsansätze wider.

Hingegen greift die vierte Kategorie die Wirkungen von Innovationen auf und nimmt somit implizit Bezug auf ein Zielsystem des Verwenders. In der Literatur wird teilweise vorgeschlagen, den Begriff der Innovation nur für solche Produkte und Verfahren zu verwenden, die eine messbare Verbesserung gegenüber dem Status vor Einführung der Innovation ermöglichen. Demnach muss der Zielerfüllungsgrad der neuen Produkte und Verfahren höher sein als jener der zuvor verwendeten. Somit wird unterstellt, dass der Anwender ein definitives Zielsystem besitzt und das daraus ein Werturteil über die Verbesserung durch die Innovation abgeleitet werden kann.³⁴⁶ Die Erforschung von Zielen hat gezeigt, dass in innovativen Situationen diese schwer bestimmbar sind, nicht generalisiert werden können und unterschiedlich gewichtet sind. Demnach ist das, was eine Verbesserung ist, je nach Zielsystem des Betrachters sehr unterschiedlich.³⁴⁷ Wird dementsprechend auf die einzelbetriebliche Betrachtung von Innovationen abgestellt, können Produktivitätskennzahlen, im weiteren Sinne also erzielte Zusatzgewinne, zur Beurteilung einer Neuerung herangezogen werden.³⁴⁸ Innovationen in der Vergangenheit können auf diese Weise ex post beurteilt werden. Die Beurteilung des zukünftig erwarteten Innovationserfolges hängt jedoch maßgeblich von der Einschätzung der für die Umsetzung einer Innovation zuständigen Entscheider ab.³⁴⁹

³⁴⁵ Vgl.: HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 7.

³⁴⁶ Vgl.: HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 19f.

³⁴⁷ Hier sei auf die Innovations-Beispiele Atomenergie und Anti-Baby-Pille verwiesen. Diese Produkte werden im Zielsystem verschiedener Interessengruppen sehr unterschiedlich bewertet und stehen im Spannungsfeld unterschiedlicher Weltanschauungen.

³⁴⁸ Vgl.: Kapitel 2.2.

³⁴⁹ Hier sei auf die verschiedenen Unsicherheiten im Innovationsprozess verwiesen, durch die ein Innovationsprozess gekennzeichnet ist. Vgl.: VORKAMP, R. [Innovationen], S. 55f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Es zeigt sich, dass aufgrund der Vielfalt der Bemessungsprobleme eine generelle, normative Abgrenzung des Innovationsbegriffs auf der Basis absoluter Erfolgsparameter ex ante an enge Grenzen stößt. Die Frage, ob eine Innovation erfolgreich werden wird, hängt letztendlich von den individuellen Nutzungsbedingungen sowie der Einschätzung des Erwartungsnutzens ab.

2.6.2 Der Innovationsprozess

Wird eine Erklärung des Innovationsphänomens angestrebt, ist eine Analyse des Innovationsprozesses erforderlich. Die Verwendung des Begriffes „Innovationsprozess“ geschieht in der Literatur dabei ähnlich kontrovers wie die begriffliche Verwendung der Innovation.³⁵⁰

Der Innovationsprozess lässt sich, unter Zugrundelegung einer betriebswirtschaftlichen und projektbezogenen Sichtweise, generell als der „befristete Raum verstehen, innerhalb dessen die zur Genese einer Produktinnovation erforderlichen Arbeitsschritte in einer idealtypisch logischen Reihenfolge durchzuführen und abzuschließen sind“.³⁵¹ Die Darstellung des Innovationsprozesses kann sich zum einen an dessen äußerem Erscheinungsbild orientieren oder zum anderen an der inneren Struktur des Prozessablaufes ausgerichtet sein. Dabei bezieht sich das äußere Erscheinungsbild in erster Linie auf die Merkmale, nach denen der Gesamtprozess in einzelne Teilschritte, somit Prozessphasen unterteilt werden kann. Der innere Aufbau stellt hingegen auf die Transformationsbeziehungen zwischen den Input- und Outputvariablen ab. Beiden Klassifikationsmethoden ist dabei das Problem der Abgrenzung zu anderen Gebieten, die Frage nach Beginn und Ende des Innovationsprozesses sowie die Schwierigkeit der möglichst trennscharfen Abgrenzung der definierten Phasen gemein.³⁵² Ferner ist es möglich, dass die Initiative und die Durchführung der einzelnen Innovations-Aktivitäten nicht bei einer einzigen Organisation verbleibt. So ist vor allem bei Investitionsgütern zwischen nutzerdominierten und herstellerdominierten Innovationsprozessen zu unterscheiden.³⁵³

In der Literatur ist ein breites definitorisches Spektrum an Phasenmodellen vorzufinden, die nach Gliederung, Gliederungstiefe und Bezeichnung der einzelnen Pha-

³⁵⁰ Vgl.: STUDINKA, C. [Integratives Management], S. 20.

³⁵¹ Vgl.: CRATZIUS, M. [Innovationsprozesse], S. 5.

³⁵² Vgl.: REICHERT, L. [Evolution], S. 30f.

³⁵³ Vgl.: BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 38f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

sen zum Teil erheblich differieren. Neben hochdifferenzierten Gliederungen werden Modelle mit nur wenigen, bis hin zu lediglich zwei Prozessphasen beschrieben.³⁵⁴ Alle Modelle basieren auf der Strukturierung des zeitlichen Ablaufs des Innovationsprozesses, die aus dem jeweiligen Untersuchungszweck abgeleitet wird. Dabei wird stets eine deskriptive und eine explorative Zielsetzung verfolgt. Auch orientiert sich eine Vielzahl von Modellen an Schemata zur Strukturierung von Planungs- und Entscheidungsprozessen, wodurch nach REICHERT die Fülle von vertikal und horizontal gegliederten Teilprozessen, die überwiegend simultan ablaufen und untereinander verflochten sind, nicht adäquat abgebildet werden kann. Daneben stellt dieser Autor in seiner Kritik gegenüber den in der Literatur beschriebenen Modellen auf den mangelnden, für die Bildung einer Theorie notwendigen Grad an Allgemeingültigkeit ab.³⁵⁵ Entsprechend den Anforderungen von REICHERT sollen Phasenmodelle erklären, wie Aktivitäten, indem sie auf (Innovations)Objekte einwirken, Ergebnisse generieren.³⁵⁶

Dieser Anforderung entspricht die auf die Terminologie von SCHUMPETER zurückzuführende, gebräuchlichste Einteilung des Innovationsprozesses,³⁵⁷ obgleich auch diese in der Literatur einer kritischen Diskussion entsprechend der allgemeinen Kritik an Phasenmodellen unterworfen ist.³⁵⁸ Der Innovationsprozess lässt sich nach diesem Modell, bezogen auf die Durchsetzung neuer Technologien, in einer zeitlichen Abfolge in drei Phasen abbilden, welche die Inventionsphase, die Innovationsphase und die Diffusionsphase umfasst.³⁵⁹

Dieses Phasen-Modell ist hier, wie in Abbildung 9 dargestellt, um die Aspekte der Kognition und Imitation auf ein vier Phasen umfassendes Modell erweitert, wobei die Imitation unter dem Gesichtspunkt der Marktdiffusion nicht zwingend als eigenständige Phase im Innovationsprozess aufgefasst wird. Dabei ist die Kognition nicht immer zwingend dem Innovationsprozess vorangestellt bzw. dessen notwendiger Ausgangspunkt. Die Kognition umschreibt die Entdeckung natürlicher Phänome-

³⁵⁴ Vgl.: REICHERT, L. [Evolution], S. 31ff sowie CRATZIUS, M. [Innovationsprozesse], S. 7.

³⁵⁵ Vgl.: REICHERT, L. [Evolution], S. 33.

³⁵⁶ Vgl.: REICHERT, L. [Evolution], S. 34.

An dieser Stelle sei betont, dass die sich auf das Innovationsobjekt und den -prozess beziehenden Systematisierungsversuche – somit die diskutierten Phasenmodelle – keinen Erklärungsgehalt im Bezug auf die Entstehung des Innovationsphänomens als solches besitzen.

³⁵⁷ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 25f.

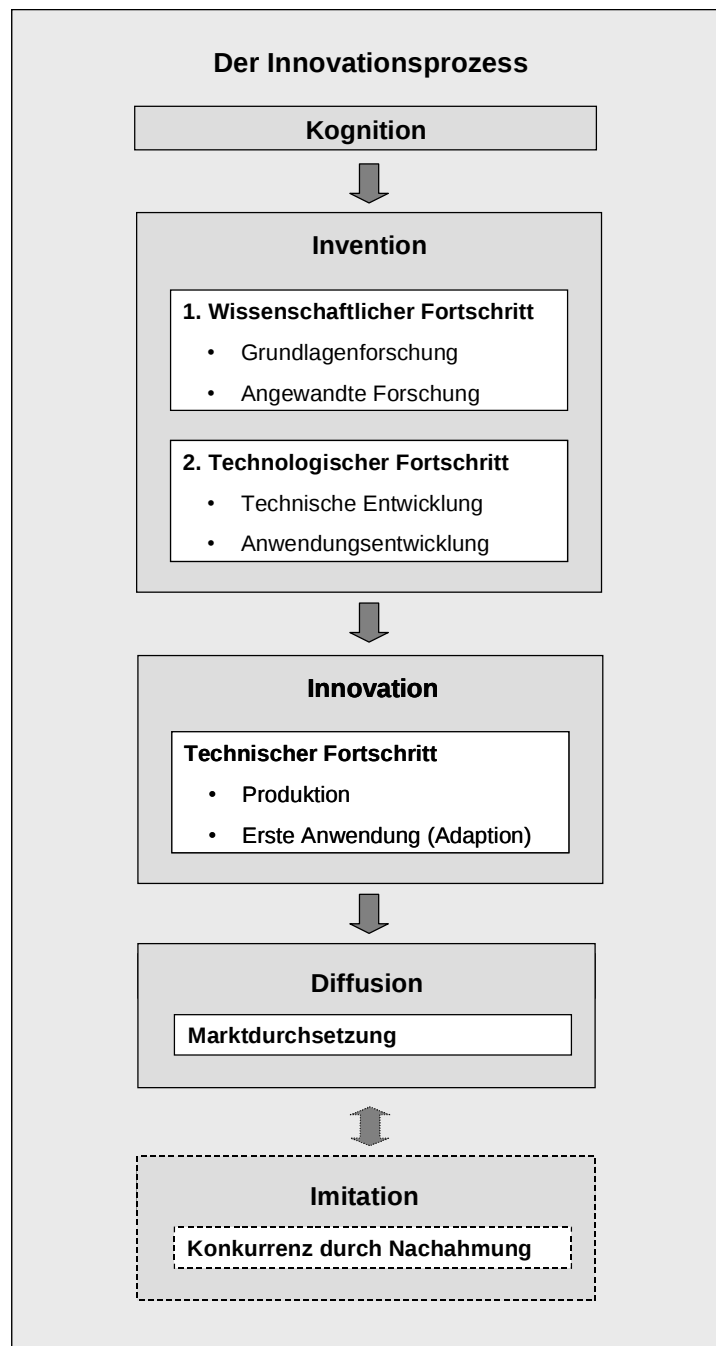
³⁵⁸ Vgl.: REICHERT, L. [Evolution], S. 31.

³⁵⁹ Vgl.: SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung], S. 100f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

ne³⁶⁰ als Auslöser der Grundlagenforschung.

Abbildung 9: Allgemeines Phasen-Schema des Innovationsprozesses



Quelle: Eigene Darstellung nach MOHR, H.-W. [Technologien], S. 26, ROPOHL, G. [Systemtheorie], S. 273 sowie BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 38.

³⁶⁰ So etwa die Zusammensetzung des Lichtes aus Spektralfarben.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Im Schema des Innovationsprozesses stellen Invention, Innovation und Diffusion (incl. der Imitation) das Ergebnis der jeweiligen Innovationsaktivitäten dar.³⁶¹

(a) Inventionsphase

Die Inventionsphase umfasst sowohl den wissenschaftlichen als auch den technologischen Fortschritt und somit den Zeitraum der Forschung und Entwicklung im Innovationsprozess.³⁶² Überwiegend verbreitet ist die Aufteilung der Forschung und Entwicklung in die drei Teilaktivitäten Grundlagenforschung, angewandte Forschung und Entwicklung (technische Entwicklung und Anwendungsentwicklung).³⁶³ Die zunächst zweckfreie Grundlagenforschung³⁶⁴ generiert bei einem erfolgreichen Verlauf, neue wissenschaftliche Erkenntnisse. Da ihre Ergebnisse meist als öffentliches Gut vorliegen und damit nicht schutzfähig sind, werden diese Forschungsaktivitäten von der öffentlichen Hand i. d. R. zumindest kofinanziert.³⁶⁵ Die angewandte Forschung hingegen soll zu neuen „entwicklungsreifen“ Erkenntnissen führen. Der Übergang zum technologischen Fortschritt ist durch die Phase der technischen Entwicklung gekennzeichnet, die durch die Schaffung eines technischen Prototyps ihren Abschluss findet. Die darauf folgende Anwendungsentwicklung hat die Entstehung eines anwendungsreifen Prototyps zum Ziel.³⁶⁶

Die Probleme der Phasen-Modelle zur Darstellung der Innovationsgenerierung treten vor allem bei der Analyse des Inventionsprozesses zutage. So suggeriert die Gliederung der Begriffe einen notwendigen zeitlichen Ablauf,

³⁶¹ Die Imitation von Neuerungen wird hier ebenfalls als eine Innovationsaktivität aufgefasst, da vielfach das Imitationsmanagement als Kleinholz - Bestandteil eines umfassenden Innovationsmanagements verstanden wird. Vgl.: HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 47.

³⁶² Zur begrifflichen Definition vgl.: HEUER, G. C. [Forschung], S. 18.

³⁶³ Vgl.: BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 51. Die Aufgliederung der Forschungs- und Entwicklungsphase entspricht auch der von der OECD im Frascati-Handbuch angewandten Begriffsbestimmung. Vgl.: OECD [Frascati Manual 1993], S. 68ff.

³⁶⁴ Im Gegensatz hierzu steht die von der Industrie mitgetragene „zweckorientierte Grundlagenforschung“. Vgl.: BÜRGE, H. D.; HALLER, C.; BINDER, M. [F&E-Management], S. 10.

³⁶⁵ Vgl.: HÜBNER, H. [Innovations- und Technologiemanagement], S. 1546f. Zur Diskussion um Möglichkeiten und Grenzen staatlicher Innovationsförderung vgl.: BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 115-136 sowie BÖTTGER, J. [Innovationsförderung], S. 209-219.

³⁶⁶ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 27f.

IHLAU und RALL bezeichnen die in der Inventionsphase generierten Erkenntnisse als potentiellen technischen Fortschritt, da sich dieser, im Gegensatz zum realisierten technischen Fortschritt, der mit dem Begriff der „Innovation“ gleichgesetzt wird, der „statistischen Erfassung“ entzieht. Vgl.: IHLAU, T.; RALL, L. [Messung], S. 23.

was zwar häufig, jedoch nicht für alle Fälle durch empirische Befunde belegt werden kann.³⁶⁷ Vor allem die Beurteilung der Stellung der Grundlagenforschung im Innovationsprozess wird in der Literatur intensiv betrachtet. Insbesondere vor dem Hintergrund langer Forschungsperioden birgt die reine, zweckfreie Grundlagenforschung ohne Beziehung auf ein neues Produkt Unsicherheiten im unternehmerischen Entscheidungsprozess. Auch werden die entsprechenden Begriffe nicht immer identisch verwendet oder sind nur unzureichend untereinander abgegrenzt.³⁶⁸

(b) Innovationsphase

Die Innovationsphase hat die Produktion und die erstmalige Markteinführung der Innovation als marktfähige Problemlösung zum Gegenstand.³⁶⁹ Der Innovationsphase kommt daher im gesamten Innovationsprozess eine herausragende Bedeutung zu, da die hier zusammengefassten Aktivitäten letztlich für eine erfolgreiche Markteinführung und spätere Marktdiffusion der Innovation bestimmend sind. Der Abschluss der Innovationsphase, in welcher erstmals potentieller technischer Fortschritt, wenn auch zunächst nur im Umfang einer Erstinnovation, in tatsächlichen technischen Fortschritt überführt wird, stellt zugleich den Beginn der Diffusionsphase dar.³⁷⁰ So ist der Vorgang des technischen Fortschritts dann beendet, wenn die Innovation in allen möglichen Anwendungsbereichen durch Erstnutzer (Pioniere) voll adaptiert ist.³⁷¹

Die mit der Realisierung einer Innovation einhergehenden Risiken können durch das Verhältnis von technisch durchführbaren und wirtschaftlich erfolgreichen Innovationen verdeutlicht werden. So berichtet BERTH die Ergebnisse einer empirischen Untersuchung unter deutschen Unternehmen, wonach von neun Basiskonzepten lediglich eines als erfolgreiche Innovation am

³⁶⁷ BROCKHOFF berichtet von Ergebnissen, wonach das Schwergewicht der Grundlagenforschung etwa 25 Jahre vor der auf ihrer Grundlage generierten Innovation liegt, während die angewandte Forschung sowie die Entwicklung auf das Jahrzehnt vor der Innovationsentstehung konzentriert ist. Vgl.: BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 53f.

³⁶⁸ Einen Überblick zur Definition unterschiedlicher Teilbereiche gibt BROCKHOFF. Vgl.: BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 52f.

³⁶⁹ Vgl.: STUDINKA, C. [Integratives Management], S. 20.

³⁷⁰ Vgl.: BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 35ff.

³⁷¹ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 27f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Markt platziert werden konnte. Die Analyse der Erfolgsaussichten von Innovationsprojekten zeigt demnach, dass von 100% der Projektideen lediglich 11,7% als Produkte am Markt lanciert wurden. Davon waren 11,1%, oder 1,3% der Basisideen, als Innovation erfolgreich.³⁷² Von ähnlichen Ergebnissen berichtet DREWS, wonach elf schriftlich fixierte Erstideen benötigt werden, um eine Innovation am Markt zu lancieren.³⁷³ Insgesamt bindet die eigentliche Realisierung der Innovation deren Implementierung im Unternehmen und am Markt den größten Kostenanteil im gesamten Innovationsprozess.³⁷⁴

(c) Diffusions- und Imitationsphase

Ist von Innovatoren (Pionieren) aufgrund einer erfolgreichen Nutzung die Verwendung einer Innovation bewiesen worden, setzt die Durchdringung des Marktes ein.³⁷⁵ Dabei ist die Diffusionsgeschwindigkeit der Innovation vom Übernahmeverhalten der dem Pionierunternehmer folgenden Unternehmer-Typen (spontan imitierende Unternehmer, konservative Unternehmer und immobile Unternehmer) abhängig.³⁷⁶ Im Idealfall erfolgt im Zeitverlauf eine 100% - Übernahme der Innovation im Markt.³⁷⁷

Werden Wettbewerber des die Innovation herstellenden Unternehmens durch die Wahrnehmung eines erfolgreichen Diffusionsverlaufes dazu veranlasst, die Neuerung durch Imitation nachzuahmen, kann der Diffusionsprozess der ursprünglichen Neuerung u. U. erheblich beeinflusst werden.³⁷⁸ Dieses in der Literatur als „horizontale Diffusion“ bezeichnete Phänomen ist nach HAUSCHILDT schwieriger zu bestimmen und zu erklären als die eigentliche Innovation.³⁷⁹ Diffusion und Imitation stellen in der Entwicklung der

³⁷² Als erfolgreiche Innovation wurde definiert: Produkte die 1. vom Markt sehr gut aufgenommen werden und deren Absatzzahlen über denen des jeweils aufgestellten Umsatzplanes liegen; 2. nach spätestens vier Jahren den Break-even-Punkt erreichen und 3. eine Rendite über der Durchschnittsrendite des lancierenden Unternehmens aufweisen. Vgl.: BERTH, R. [Innovationen], S. 33.

³⁷³ Vgl.: DREWS, M. [Produkt- und Verfahrensinnovation], S. 254.

³⁷⁴ Vgl.: SCHEUTEN, W. K. [Einführung], S. 556.

³⁷⁵ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 29f.

³⁷⁶ Vgl.: Kapitel 2.5.3.1.

³⁷⁷ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 10f.

³⁷⁸ Vgl.: BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung], S. 37.

³⁷⁹ Vgl.: STUDINKA, C. [Integratives Management], S. 20 und HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement], S. 46f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Marktphasen sich gegenseitig z. T. erheblich beeinflussende Teilaspekte im Prozess der Marktdurchdringung von Neuerungen dar.³⁸⁰ Aufgrund dessen können beide Phänomene in der Diffusionsphase zusammengefasst werden, die damit den eigentlichen Abschluss des Phasen-Schemas darstellt.

2.6.3 Adoption

Der gesamte Übernahmeprozess von Innovationen durch eine Anzahl von Personen oder Unternehmen besteht aus zwei voneinander abhängiger Prozesse: Dem individuellen Adoptionsprozess und dem Diffusionsprozess innerhalb der betrachteten Personen- oder Unternehmensgruppe.³⁸¹

Die Übernahme einer Innovation durch ein Individuum oder eine Gruppe von Individuen wird in der Innovations- und Diffusionsforschung als Adoption bezeichnet.³⁸² Der individuelle Adoptionsprozess kann dabei als geistiger Prozess aufgefasst werden, den eine Einzelperson vom ersten Gewahrwerden bis zu der Übernahme der Innovation durchläuft. Die Dauer der Adoptionsperiode ist die Grundlage mehrerer Maße, anhand derer das Übernahmeverhalten von Personen und Gruppen quantifiziert werden kann. Das in der Literatur am häufigsten verwendete Übernahmemaß ist die auf der „innovativeness-scale“ von ROGERS basierende Adopterkategorisierung.³⁸³ In ihr kommt der relative Zeitpunkt der Übernahme einer Innovation durch ein Individuum, im Vergleich zu dem zeitbezogenen Übernahmeverhalten der übrigen Individuen des beobachteten sozialen Systems, zum Ausdruck. Aufgrund der in empirischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnis, dass die zeitliche Verteilung der Innovations-Übernahme um den Mittelwert der Gesamtheit aller Übernahmen in einem sozialen System in etwa einer Normalverteilung folgt, kann die relative Zeit der Übernahme in Maßeinheiten der Normalverteilung (Standard Scores) ausgedrückt werden.³⁸⁴ Die normalverteilte Häufigkeitsverteilung der Adoption in Abhängigkeit der Zeit wird dabei vor allem auf die normalverteilte Verbreitung von Informationen betreffend die Neuerung und die Normalverteilung von Lernef-

³⁸⁰ Ein allgemeines Konzept zu Markteintrittsbarrieren gibt PORTER, einen speziellen Überblick zum Imitationsverhalten SCHEWE. Vgl.: PORTER, M. E. [Wettbewerbsvorteile] sowie SCHEWE, G. [Imitationsmanagement].

³⁸¹ Vgl.: ALBRECHT, H. [Adoption-Forschung], S. 326.

³⁸² Vgl.: PLANCK, U.; ZICHE, J. [Agrarsoziologie], S. 342.

³⁸³ Vgl.: THELER, C. [Innovationsmanagement], S. 12.

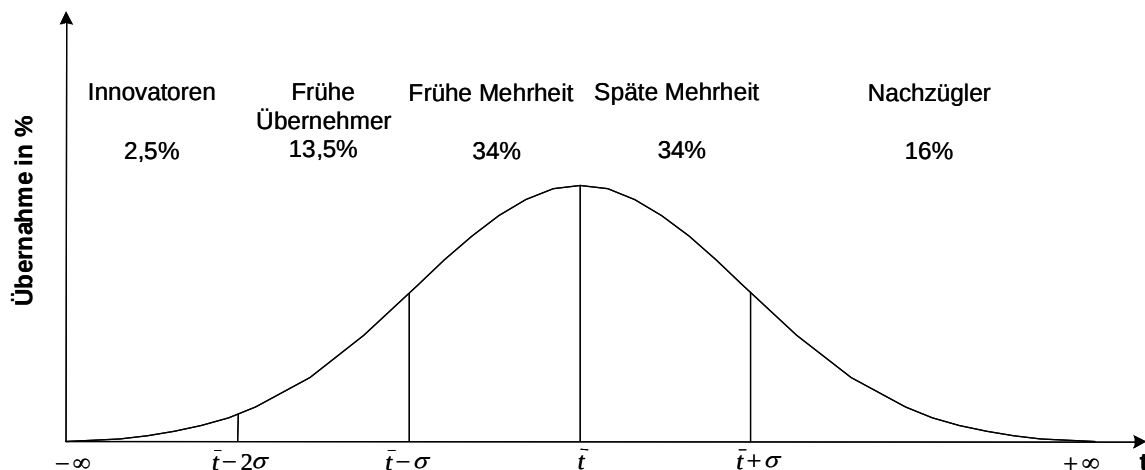
³⁸⁴ Vgl.: ROGERS, E. M. [Categorizing] sowie BEAL, G. M.; ROGERS, E. M. [Adoption].

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

effekten bei den Anwendern der Neuerung sowie auf die damit verbundene normalverteilte Reduktion der Unsicherheit im Verlauf des Diffusionsprozesses zurückgeführt.³⁸⁵

Mittels der von ROGERS vorgenommenen Unterteilung der Gesamtverteilung in gleich große Zeitabschnitte ist es möglich, die einzelnen Unternehmer entsprechend ihrer Übernahme-Rangfolge den Zeitabschnitten im Zahlenverhältnis einer Normalverteilung zuzuordnen. Das Verhältnis der Summe der ermittelten Übernahmezeitpunkte der verschiedenen Innovationen zur Zahl der Innovationen gibt dabei das Ausmaß an, um das ein Individuum relativ früher als andere Mitglieder des betrachteten sozialen Systems Innovationen übernimmt. Das so gewonnene Maß ist von der spezifischen Innovation unabhängig und dient der Kategorisierung der Unternehmer entsprechend ihrer Platzierung auf der Normalverteilung. Entsprechend empirischer Untersuchungen kann die Gesamtverteilung – im Falle eines idealtypischen Diffusionsverlaufs - in verschiedene Abschnitte eingeteilt und fünf Unternehmertypen entsprechend ihres relativen Übernahmezeitpunktes zugeordnet werden (Abbildung 10).³⁸⁶

Abbildung 10: Normale Häufigkeitsverteilung von Innovationen



Quelle: Eigene Darstellung nach ROGERS, E. M. [Categorizing], S. 51.

³⁸⁵ Vgl.: DURTH, R. [Diffusion], S. 1625.

Die Charakterisierung verschiedener Adopterkategorien geht auf die Ergebnisse der von RYAN und GROSS durchgeführten Untersuchung über die Ausbreitung von Hybridsaatgut in Iowa zurück. Vgl.: RYAN, B.; GROSS, N. C. [Hybrid Seed Corn], S. 15-24.

³⁸⁶ Eine ausführliche Beschreibung der Adopterkategorisierung findet sich bei ROGERS, E. M.; SHOEMAKER, F. F. [Communication], S. 174-191 sowie bei ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 252-280.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Der in Abbildung 10 für die Übernahme des Wuchsstoff-Herbizides 2,4-D in Iowa beispielhaft aufgezeigten Verteilungsfunktion des zeitlichen Verlaufs einer stetigen Zufallsvariablen liegt eine Dichtefunktion von glockenförmigem Charakter zu Grunde. Diese Glockenkurve besitzt Wendepunkte bei den Abszissen $t+\sigma$ bzw. $t-\sigma$. Die Fläche unter der glockenförmigen Funktion entspricht definitionsgemäß dem Umfang aller Stichproben, repräsentiert somit 100% der Messwerte. Für eine t-normalverteilte Zufallsvariable N gelten folgende gerundete (Flächen)Werte:

$$W=\{\bar{t}-\sigma \leq N \leq \bar{t}+\sigma\} = 68,27\% \text{ der Fläche}$$

$$W=\{\bar{t}-2\sigma \leq N \leq \bar{t}+2\sigma\} = 95,45\% \text{ der Fläche}$$

$$W=\{\bar{t}-3\sigma \leq N \leq \bar{t}+3\sigma\} = 99,73\% \text{ der Fläche.}$$

Die Adopterkategorisierung und die ihr zugrunde liegenden Verfahren der Innovativness-Skalierung von ROGERS fußen auf der Annahme einer vollständigen Übernahme bei einer fortlaufenden Anwendung der Neuerung, wobei Diskontinuitäten nicht erfasst werden.

Ein bedeutender Vorteil der Adopterkategorisierung liegt in der einfachen und effizienten Unterscheidung von Individuen in Abhängigkeit ihres Neuerungsverhaltens. Auch ermöglichen Übernahmemaße, die wie die Adopterkategorisierung von ROGERS auf mehrere Innovationen bezogen sind (sog. multipractice adoption behavior) - im Gegensatz zu „singlepractice adoption behavior“ Maßen, die lediglich den Übernahmestatus zum Untersuchungszeitpunkt bezogen auf eine Innovation dokumentieren - eine weniger zufallsabhängige Aussage über das Adoptionsverhalten eines Individuums.³⁸⁷ Die ausschließliche Verwendung von Multipractice-Maßen kann jedoch dazu führen, dass Differenzierungen des Übernahmeverhaltens erschwert wahrgenommen werden. Auch verleitet die Anwendung der Adopterkategorisierung zu der in der Realität widerlegten Annahme, dass die Zugehörigkeit zu einer Kategorie eine ständige Eigenschaft des betreffenden Individuums sei.³⁸⁸ Es zeigt sich daher, dass eine Betrachtung der mit dem Multipractice-Maß korrelierten Faktoren nicht ausreicht um die Ursachen zur Übernahme von Innovationen zu analysieren.

³⁸⁷ Vgl.: ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse], S. 34ff.

³⁸⁸ So ist es möglich, dass die Kategorisierung einer Person bereits nach einigen Jahren stark von der Ausgangssituation differieren kann.

2.6.4 Diffusion

2.6.4.1 Die Nachfrager-Perspektive

Die Diffusion ist der Prozess der zeitlichen Ausbreitung einer Innovation in einem sozial-räumlichen System. Jede einzelne Adoption durch eine Übernahmeeinheit stellt dabei einen Schritt im Diffusionsprozess der betrachteten Innovation dar.

Eine grundlegende (kommunikationsbezogene) Definition des Begriffs stammt von ROGERS, wonach Diffusion eine Entwicklung darstellt, in welcher eine Innovation im Zeitverlauf zu den verschiedenen Mitgliedern (Individuen) eines sozialen Systems kommuniziert wird.³⁸⁹ Der Diffusionsprozess ist nach ROGERS durch die vier Elemente Innovation, Kommunikation bzw. die genutzten Kommunikationskanäle, die Zeit sowie das soziale System charakterisiert.³⁹⁰ In Kritik der einzelindividuellen Betrachtung definieren KATZ, LEVIN UND HAMILTON abweichend zu ROGERS als weitere bedeutende Vertreter der agrarsoziologischen Diffusionsforschung die Übernahme einer Innovation im Zeitablauf durch Individuen, Gruppen aber auch andere Übernahmeeinheiten, verbunden mit spezifischen Kommunikationskanälen, einer sozialen Struktur und einem gegebenen Wertesystem bzw. einer Kultur.³⁹¹ Dabei werden neben der spezifischen Innovation die Übernahmeeinheit, die spezifischen Kommunikationswege sowie das geltende Wertesystem als wesentliche Determinanten des Diffusionsprozesses hervorgehoben, was zu einer differenzierteren Begriffsbestimmung als bei ROGERS führt.³⁹²

Zur Quantifizierung der Ausbreitung von Innovationen wird neben verschiedenen Zustands- und Prozessmaßen, für deren Vor- und Nachteile grundsätzlich dieselben Argumente gelten wie bei den angeführten Adoptionsmaßen und daher hier nicht weiter beschrieben werden sollen, insbesondere ein u. a. auf WINDHORST zurückzuführendes Phasen-Konzept zur räumlich Ausbreitung von Neuerungen he-

³⁸⁹ Dabei betont er, dass hier ein spezieller Typ von Kommunikation in sofern unterstellt wird, dass die ausgetauschten Botschaften sich mit neuen Ideen bzw. Innovationen befassen. Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 5.

³⁹⁰ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 10.

³⁹¹ Vgl.: KATZ, E.; LEVIN, M. L.; HAMILTON, H. [Diffusion], S. 237-251.
Zur weiteren Einordnung der Definitionen von KATZ, LEVIN und HAMILTON sowie der von ROGERS vgl.: KATZ, E.; LEVIN, M. L.; HAMILTON, H. [Diffusion], ROGERS, E. M. [Diffusion] sowie ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse].

³⁹² Vgl.: PLANCK, U.; ZICHE, J. [Agrarsoziologie], S. 345.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

rangezogen.³⁹³ In Anlehnung an das Lebenszyklusmodell kann zur Beschreibung des Diffusionsgrades der Diffusionsprozess in die vier Phasen Initial-, Expansions-, Verdichtungs- und Sättigungsphase gegliedert werden. Die Einteilung kann dabei mit jener der Adopterkategorien überlagert werden, wobei in der Expansionsphase die Adopterkategorien „frühe Übernehmer“ und „frühe Mehrheit“ zusammengefasst werden können. Mittels der Parallelisierung der Diffusionsphasen mit den Adopterkategorien ROGERS lässt sich zeigen, dass die Adopterkategorien durch die Aufnahme einer Innovation zu verschiedenen Zeitpunkten und mit unterschiedlicher Durchsetzungskraft raumwirksam werden. Die Adopterkategorien können demzufolge als sozialgeografische Gruppen charakterisiert werden.

Empirisch konnte für die kumulierte Übernahme einer Innovation vielfach ein S-förmiger Funktionsverlauf (Summenkurve der Rate der Übernahme) nachgewiesen werden,³⁹⁴ der sich in der grafischen Darstellung dadurch ergibt, dass die Übernahmezeit auf der Abszisse und die kumulierte Zahl der Adopter auf der Ordinate abgetragen wird (Abbildung 11).³⁹⁵

³⁹³ Vgl.: WINDHORST, H.-W. [Agrartechnologische Innovationen], S. 10ff.

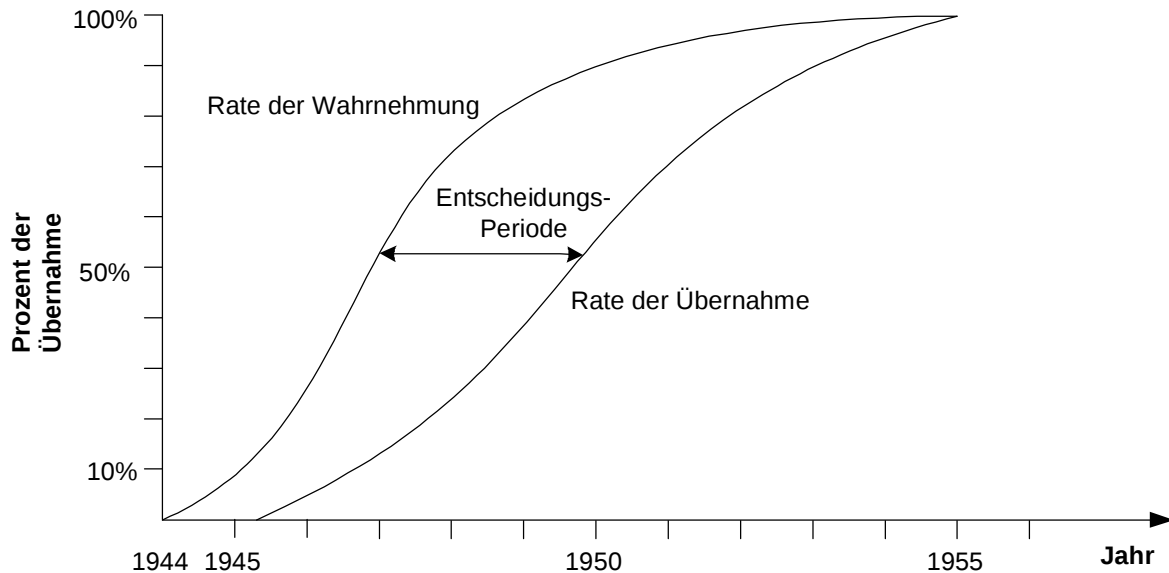
³⁹⁴ Vgl.: DURTH, R. [Diffusion], S. 1625.

Einer der ersten empirischen Nachweise eines S-förmigen Diffusionsverlaufs gelang RYAN und GROSS für die Ausbreitung von Hybridsaatgut in Iowa. Vgl.: RYAN, B.; GROSS, N. C. [Hybrid Seed Corn], S. 15-24.

³⁹⁵ ROGERS gibt jedoch zu bedenken, dass die S-förmige Verteilungsfunktion lediglich den idealen Übernahmeverlauf im Falle einer erfolgreichen Innovation darstellt. Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 257-261.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Abbildung 11: Kumulierte Übernahmerate einer Faktorinnovation (Wachstumsstoff-Herbizid 2,4-D in Iowa)



Quelle: Eigene Darstellung nach ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 200.

Der Funktionsverlauf lässt sich durch zwei, als komplementär anzusehende Theorien erklären.

a.) Die S-Kurve als kumulierte Nachfragefunktion

Die S-Kurve kann als kumulierte Nachfrageverteilungsfunktion angesehen werden. Die Gestalt der Übernahmefunktion lässt sich aus dem Verlauf der Funktion der Wahrnehmungsrate sowie der Länge der individuellen Entscheidungs-Periode erklären und basiert im Idealfall auf einer Normalverteilung der Innovationsnachfrage (Abbildung 10). Die theoretische Erklärung hierfür ist, dass zur Adoption ein individueller Entscheidungsprozess durchlaufen sowie eine gewisse Resistenz gegenüber der Innovation überwunden werden muss. Die Länge der Entscheidungs-Periode variiert dabei erheblich zwischen der Gruppe der Innovatoren und der Gruppe der Nachzügler.³⁹⁶

Die Entscheidung eines Individuums, erstmalig ein neues innovatives Produkt oder Verfahren zu übernehmen, vollzieht sich in mehreren Schritten. Bereits RYAN und GROSS konnten in ihrer Analyse zur Ausbreitung von „hybrid seed corn“ in Iowa

³⁹⁶ Vgl.: KLEINHOLZ, R. [Diffusion], S. 338.

“Knowledge proceeds at a more rapid rate than does adoption, a finding that suggests that relatively later adopters have a longer average innovation-decision period than earlier adopters.”
ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 200f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

nachweisen, dass der Entscheidungsprozess eines einzelnen Landwirts zur Übernahme einer Innovation in den Phasen Wahrnehmung, Versuch und Übernahme verläuft.³⁹⁷ Als Ursache des sozialen Wandels identifizierten beide Autoren soziale Faktoren und nicht ökonomische Beweggründe. Die unterschiedliche zeitliche Adoption der einzelnen Farmer wird von ihnen dadurch erklärt, dass unterschiedliche Individuen zu unterschiedlichen Zeitpunkten von der Innovation mittels verschiedener Kommunikationskanäle erfahren. Neben der Beschreibung der S-Kurve für idealtypische Diffusionsverläufe und einer grundlegenden Charakterisierung verschiedener Adopterkategorien, legen RYAN und GROSS im Rahmen ihrer Untersuchung auch eine Analyse der relativen Wichtigkeit der verschiedenen Kommunikationskanäle für die Verbreitung von Innovationen vor. Dabei kommen beide Autoren zu dem Schluss, dass insbesondere die Nutzung der interpersonellen Kommunikation einen entscheidenden Einfluss auf die Adoption von Innovationen hat.³⁹⁸

Ein weiterer, insbesondere für die agrarsoziologische Innovationsforschung wegweisender Ansatz zur Strukturierung des Übernahmeprozesses von Innovationen stammt von WILKENING (1953).³⁹⁹ Ausgehend von den Erkenntnissen von RYAN und GROSS, konnte WILKENING als Ergebnis seiner Untersuchung des Innovations- und Kommunikationsverhaltens von Milchviehhaltern in Wisconsin eine Bestätigung der These finden, dass die unterschiedliche Wahrnehmung von Innovationen auf die differierende Nutzung von Informationsquellen zurückzuführen ist. Er konnte insbesondere er zeigen, dass Landwirte erste Informationen betreffend die Existenz einer Innovation über andere Kommunikationskanäle, insbesondere über Massenmedien, erhalten als die zu einem späteren Zeitpunkt des Adoptionsprozesses benötigten Informationen zur Anwendung der entsprechenden Neuerung. WILKENING formulierte den Übernahmeprozess somit als zeitliche Abfolge eines Prozesses der Informationsbeschaffung, den er in drei Phasen gliederte:⁴⁰⁰

³⁹⁷ Vgl.: RYAN, B.; GROSS, N. C. [Hybrid Seed Corn], S. 15-24.

³⁹⁸ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 53-55.

³⁹⁹ Vgl.: WILKENING, E. A. [Farm practices].

⁴⁰⁰ Vgl.: WILKENING, E. A. [Communicating agents], S. 361-367.

Vgl. Zum Informationsverhalten von Landwirten auch: COPP, J. H.; SILL, M. L.; BROWN, E. J. [Information Sources], S. 146-157.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

1. Wahrnehmung: Informationen über die Existenz einer Innovation;
2. Entscheidung: Informationen, die die Entscheidungsfindung zur Übernahme oder Ablehnung einer Innovation unterstützen;
3. Handeln: Informationen über die Anwendung der Innovation.

WILKENINGS Untersuchungen stellen den Beginn der intensiven Analyse der Verbindung zwischen der Nutzung von Informationsquellen und den einzelnen Phasen des Entscheidungsprozesses dar.⁴⁰¹ Die von ihm unterschiedenen Stadien des Übernahmeprozesses bilden in der Folge die Grundlage für die von verschiedenen Agrarsoziologen vorgenommene Formulierung des „klassischen“ Phasenmodells von Adoptionsprozessen (Übersicht 3).⁴⁰² Nach dem in Übersicht 3 dargestellten Phasenmodell durchläuft ein Individuum fünf Stufen der Informationssuche und –verarbeitung, bevor es sich zur Übernahme einer Neuerung entscheidet. Grundlage des Konzepts ist dabei die Annahme der logischen Rationalität des Entscheidungsprozesses, der schließlich zur – rational begründeten - Übernahme einer Innovation führt. Der Diffusionsverlauf wird dabei einzig über die zeitliche Verbreitung von Informationen mittels verschiedener Kommunikationskanäle definiert.

⁴⁰¹ Die Begriffe „Phasen“ und „Stadien“ werden in der Literatur synonym für die einzelnen Stufen des Entscheidungsprozesses verwendet. In der englischsprachigen Literatur hat sich hierzu der Begriff „stages“ durchgesetzt.

⁴⁰² Das in der kommunikations- und sozialwissenschaftlichen Tradition als „klassisches“ Adoptionsmodell bezeichnete Phasenmodell der Innovationsübernahme wurde von Agrarsoziologen in den frühen 1950-Jahren entwickelt und im Rahmen des NORTH CENTRAL RURAL SOCIOLOGY SUBCOMMITTEE FOR THE STUDY OF DIFFUSION OF FARM PRACTICES unter der Federführung von BEAL und BOHLEN veröffentlicht. Vgl.: NORTH CENTRAL RURAL SOCIOLOGY SUBCOMMITTEE FOR THE STUDY OF DIFFUSION OF FARM PRACTICES [Farm people].

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Übersicht 3: Phasenmodell des Adoptionsprozesses

Phase	Individualverhalten
1. Wahrnehmungsphase (<i>awareness stage</i>)	Das Individuum erfährt von der Existenz einer Neuerung. Es kennt noch keine Details und hat auch nicht das Bedürfnis nach genaueren Informationen.
2. Interessensphase (<i>interest stage</i>)	Das Individuum beginnt sich für die Neuerung zu interessieren und bemüht sich um nähere Informationen.
3. Bewertungsphase (<i>evaluation stage</i>)	Das Individuum bewertet die persönlichen Vor- und Nachteile einer möglichen Übernahme der Neuerung. Als Ergebnis der Bewertung entschließt sich die betrachtete Person, einen Übernahmeversuch vorzunehmen oder weitere Aktivitäten zu unterlassen.
4. Versuchsphase (<i>trial stage</i>)	Zur Erlangung eigener Anwendungserfahrungen wird die Neuerung in begrenztem Umfang versuchsweise eingesetzt. Zudem sucht das Individuum weitergehende Informationen zur Anwendung der Neuerung.
5. Übernahmephase (<i>adoption stage</i>)	Das Individuum übernimmt die Neuerung zur fortlaufenden Anwendung.

Quelle: NORTH CENTRAL RURAL SOCIOLOGY SUBCOMMITTEE FOR THE STUDY OF DIFFUSION OF FARM PRACTICES [Farm people], S. 3f sowie ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse], S. 36.

Die Gültigkeit und Zweckmäßigkeit des Phasenkonzepts wurde sowohl von theoretischer als auch empirischer Seite immer wieder in Frage gestellt.⁴⁰³ Besonders führt die mit der einseitigen Fokussierung auf ein rationales Adoptionsverhalten verbundene mangelnde Realitätsnähe zu einer intensiven Kritik des Konzepts.⁴⁰⁴ So wird als Kritik angeführt, dass das „natürliche Ergebnis“ rationaler Erwägungen nicht unweigerlich die Übernahme einer Neuerung darstellt. Vielmehr kann rationales Verhalten auch zur Ablehnung einer Innovation führen. Auch die sequenzielle Abfolge der Phasen selbst wird von den Kritikern des Modells als unzweckmäßig abgelehnt. Insbesondere das einseitig auf die Übernahme einer Neuerung ausgerichtete, lineare Ablaufschema berücksichtigt nicht, dass eine Neuerung in jeder

⁴⁰³ Vgl.: ROGERS, E. M.; SHOEMAKER, F. F. [Communication].

⁴⁰⁴ Vgl.: ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse], S. 40-47.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Phase des Entscheidungsprozesses zurückgewiesen oder nach anfänglicher Adoption verworfen werden kann.⁴⁰⁵ So hat ROGERS darauf hingewiesen, dass die Entscheidung zur Übernahme oder Ablehnung einer Neuerung nicht das Endstadium in der Auseinandersetzung mit Innovationen darstellen muss.⁴⁰⁶ In die gleiche Richtung zielt auch die Kritik, dass die Bewertung von Neuerungen den gesamten Übernahmeprozess begleitet und nicht einer bestimmten Stelle in der Entscheidungssequenz zuzuordnen sei. Auch wird angeführt, dass die bloße Wahrnehmung einer Neuerung kein hinreichendes Ausgangskriterium für die Erklärung des Beginns von Übernahmeprozessen darstelle. Im Hinblick auf die Bedeutung von Informationen über eine Neuerung im Übernahmeprozess wendet HASSINGER ein, dass die Informationswahrnehmung durch ein Individuum keinen passiven Vorgang darstelle und das Wissen um eine Neuerung nur in Verbindung mit den individuellen Nutzensvorstellungen (Bedürfnissen) des jeweiligen Entscheiders einen Innovationsprozess initialisiert.⁴⁰⁷ CAMPBELL bestätigt diese Kritik HASSINGERS und verweist darauf, dass der Prozess der Auseinandersetzung mit einer Neuerung das individuelle Erleben einer Problemsituation voraussetzt.⁴⁰⁸

Ausgehend von den vorgebrachten Kritikpunkten entwickelten einige Autoren Abwandlungen des Phasenkonzeptes bzw. betrieben dessen Weiterentwicklung. Dabei wurde versucht, die Gültigkeit des Phasen-Konzept sowohl direkt als auch indirekt nachzuweisen sowie die Abhängigkeit des Adoptionsprozesse von der Nutzung einzelner Informationsquellen weiter zu belegen.⁴⁰⁹

Eine bedeutende Weiterentwicklung des Phasen-Konzepts stammt von Rogers, der in einem ersten Schritt (ROGERS und SHOEMAKER, 1971) ein vier Phasen umfassendes Konzept formuliert, in dem er die fünf Phasen des klassischen Phasen-

⁴⁰⁵ Vgl.: PLANCK, U.; ZICHE, J. [Agrarsoziologie], S. 343.

⁴⁰⁶ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 180.

⁴⁰⁷ Vgl.: HASSINGER, E. [adoption process] S. 52.

In Erwiderung der Kritik HASSINGERS wirft ROGERS die - letztendlich aus seiner Sicht nicht zu klärende - Frage auf, ob individuelle Bedürfnisse die Wahrnehmung von Innovationen bedingen, oder ob aus dem Wissen um die Existenz einer Neuerung nicht selbst neue Bedürfnisse und Anwendungsideen hervorgehen. So könnte die Wissenschaft keine Antwort auf die Frage liefern, ob die Wahrnehmung eines Bedürfnisses oder die Wahrnehmung einer Innovation den Beginn eines Entscheidungsprozesses darstelle. ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 165.

⁴⁰⁸ Vgl.: CAMPBELL, R. R. [adoption process], S. 5.

⁴⁰⁹ In der Literatur sind verschiedene Ansätze zur Strukturierung des Prozesses der Innovationsübernahme beschrieben. Dabei variieren die Zahl wie auch die verwendeten Bezeichnungen der Phasen zwischen den verschiedenen Modellen z. T. erheblich. Vgl.: ROGERS, E. M.; SHOEMAKER, F. F. [Communication], S. 100f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Konzeptes umbenennt und der Übernahme-Phase die Bestätigungs-Phase nachstellt.⁴¹⁰ Mit der später erfolgten Einfügung (ROGERS, 1985) der Einführungs-Phase zwischen die Entscheidungs- und Bestätigungs-Phase beschreibt ROGERS den Entscheidungsprozess zur Übernahme von Innovationen (innovation-decision process) als fünfphasiges Entscheidungsmodell bestehend aus den Phasen Wissen, Überzeugung, Entscheidung, Einführung und Bestätigung.⁴¹¹ Durch die Aufnahme der Einführungs-Phase berücksichtigt ROGERS explizit auch das Auftreten von Re-Inventionsprozessen während der Einführung einer Innovation in seinem Modell.⁴¹² In Verbindung mit den Überlegungen zur Bestätigungs-Phase gelang es ROGERS damit – bei der grundsätzlichen Unterstützung von Phasenmodellen zur Erklärung von Entscheidungsprozessen - einen ergebnisoffenen Entscheidungsprozess abzubilden, der zeitlich über die Entscheidung zur Einführung einer Innovation hinausreicht.⁴¹³

Der Entscheidungsprozess wird nach der Auffassung ROGERS wesentlich durch die bisherige Anwendungspraxis, die individuell erkannten Probleme bzw. das Verlangen nach einer Neuerung, die individuelle Innovationsneigung des Entscheiders sowie das den Entscheider umgebende soziale System beeinflusst.⁴¹⁴ Eine wichtige Weiterentwicklung des Phasenkonzepts stellt nach Rogers die Berücksichtigung der Erkenntnis dar, dass menschliches Entscheidungsverhalten, entsprechend der Dissonanztheorie von FESTINGER,⁴¹⁵ von einem inneren Ungleichgewicht geprägt ist, dass durch die Suche nach Veränderung reduziert oder beseitigt werden kann. Diese Erkenntnis eines kontinuierlichen Suchprozesses führt in ROGERS Modell zur

⁴¹⁰ Vgl.: ROGERS, E. M.; SHOEMAKER, F. F. [Communication].

⁴¹¹ In der englischen Originalquelle verwendet ROGERS die Phasenbezeichnungen knowledge stage, persuasion stage, decision stage, implementation stage und confirmation stage. Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 162f.

„The innovation-decision process is the process through which an individual (or other decision-making unit) passes from first knowledge of an innovation, to forming an attitude toward the innovation, to a decision to adopt or reject, to implementation of the new idea, and to confirmation of this decision.” ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 202f.

⁴¹² ROGERS definiert den Begriff Re-Invention als „(...) the degree to which an innovation is changed or modified by a user in the process of its adoption or implementation.” ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 175.

⁴¹³ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 173.

⁴¹⁴ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 163.

⁴¹⁵ Vgl.: FESTINGER, L. [Cognitive Dissonance].

Rogers fokussiert im Hinblick auf den Entscheidungsprozess zur Übernahme von Innovationen auf drei Bereiche, um Dissonanzen zu reduzieren: Wissen, Innovations-Einstellung und Innovations-Verhalten. Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 181-186.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Annahme, das auch mit Ablauf der Bestätigungs-Phase der Entscheidungsprozess nicht zwingend als abgeschlossen betrachtet werden kann.⁴¹⁶ Insgesamt stellt der Entscheidungsprozess nach ROGERS einen Prozess der Informationssuche- und -verarbeitung dar, in welchem der Entscheidungsträger bemüht ist, bestehende Unsicherheiten betreffend der Vor- und Nachteile einer Neuerung möglichst aufzulösen. Rogers begreift den Innovationsprozess daher in erster Linie als Kommunikationsprozess.⁴¹⁷

Eine wesentliche Erweiterung des Phasenmodells stammt von CAMPBELL, dessen Modell wesentliche Kritikpunkte am klassischen Phasenmodell aufgreift. Als Grundprämissen seines Ansatzes formuliert CAMPBELL.⁴¹⁸

- (1) Der Übernahmeprozess kann nur durch die Wahrnehmung eines Problems ausgelöst werden. Die Wahrnehmung kann dabei direkt aus einer Problemsituation heraus resultieren (sowie der daraus resultierenden Suche nach entsprechenden Lösungsmöglichkeiten), oder aber durch die Wahrnehmung von Neuerungen, die die gegenwärtige Situation als Problem erscheinen lassen, ausgelöst werden.
- (2) Nachdem das Individuum einen rationalen oder irrationalen Problemlösungsprozess durchlaufen hat, kann es die Entscheidung treffen, eine Neuerung anzunehmen oder zu verwerfen. Als rational ist dabei ein Prozess zu bezeichnen, in dem die möglichen Alternativen und Konsequenzen erwogen werden, bevor man handelt.⁴¹⁹

Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen gelangt CAMPBELL zu einer Weiterentwicklung des Phasenmodells, in dem er es auf sieben Stufen erweitert sowie zusätzlich vier Entscheidungsprozess-Typen einführt (Übersicht 4).

⁴¹⁶ Da das Entscheidungsverhalten bzgl. Innovationen nach der Auffassung von ROGERS sowohl von Dissonanzen als auch von Diskontinuitäten (Ablehnung einer Innovation nach erfolgter Adoption) geprägt ist, ist die Übernahme einer Innovation auch nicht als Endpunkt eines linearen Entscheidungs-Prozesses zu betrachten.

„Confirmation occurs, when an individual (or some other decision-making unit) seeks reinforcement of an innovation decision already made, or reverses a previous decision to adopt or reject the innovation if exposed to conflicting messages about the innovation.” ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 162.

⁴¹⁷ „This is a social process, involving talking with others.” ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 165.

⁴¹⁸ Vgl.: CAMPBELL, R. R. [adoption process], S. 5ff.

⁴¹⁹ Weiterhin unterstellt Campbell, dass sowohl das rationale wie auch das irrationale Handeln jeweils zur Übernahme als auch zur Ablehnung einer Neuerung führen kann. Vgl.: CAMPBELL, R. R. [adoption process], S. 5ff.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Die von CAMPBELL beschriebenen rationalen Entscheidungstypen I und II dieses Schemas entsprechen dem Entscheidungsablauf des klassischen Phasenmodells, wobei für den Typ I die Problemwahrnehmung als wesentliche Modellerweiterung der Wahrnehmung einer Neuerung vorangestellt wird.⁴²⁰ Bei den nichtrationalen Typen III und IV entfällt die Bewertungsstufe. Zudem sind diese beiden Typen dadurch gekennzeichnet, dass die Phase des „Sich-interessieren“ zeitlich der eigentlichen Innovationshandlung nachgelagert ist. Insgesamt wird die Problemwahrnehmung im Falle der rationalen Typen entweder durch die rationale Situationswahrnehmung (Typ I) oder das rationale Wahrnehmen von Neuerungen (Typ II) ausgelöst. Hingegen zeichnen sich die nichtrationalen Typen durch eine nichtrationale Situationswahrnehmung (Typ III) bzw. durch die nichtrationale Wahrnehmung möglicher innovationsbedingter Veränderungen (Typ IV) aus. Die Erklärung für die Verlagerung der Interessensphase an das Ende des Übernahmevorganges im Falle der nichtrationalen Entscheidungsprozeß-Typen findet sich - wie auch bei ROGERS - in der Dissonanztheorie von FESTINGER: Individuen, die ohne die vorherige Abwägung von Alternativen und Konsequenzen handeln, sind bemüht, nachträglich eine rationale Begründung für ihre Entscheidung zu finden.⁴²¹ Der Prozess der nachträglichen Rationalisierung von Handlungen kann auch auf die nachträgliche Beurteilung des Adoptionsprozesses durch die Adopter übertragen werden. Entsprechend lässt das in Adoptionsstudien mittels ex-post Befragungen gewonnene Bild den Übernahmeprozess rationaler erscheinen, als er tatsächlich verlaufen ist.⁴²²

⁴²⁰ Vgl.: ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse], S. 48.

⁴²¹ Vgl.: FESTINGER, L. [Cognitive Dissonance], S. 123-176.

⁴²² Landwirte geben häufig bei den im Rahmen von Adoptionsstudien üblichen ex-post Befragungen rationalisierte Antworten im Sinne des Phasenkonzeptes an, wodurch eine rationale Übernahme suggeriert wird. Vgl.: PLANCK, U.; ZICHE, J. [Agrarsoziologie], S. 344.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Übersicht 4: Entscheidungsprozeß-Typen nach Campbell

Entscheidungsvorgänge / Phasen	Rationale Typen		Nichtrationale Typen	
	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
Wahrnehmen eines Problems	+	-	+	-
Sich interessieren	+	+	-	-
Gewahrwerden von Neuerungen	+	+	+	+
Bewerten von Neuerungen	+	+	-	-
Ablehnen oder Erproben	+	+	-	-
Ablehnen oder Übernehmen	+	+	+	+
Sich interessieren	-	-	+	+

Erläuterungen: + Vorgang findet statt; - Vorgang entfällt.

Quelle: CAMPBELL, R. R. [adoption process], S. 18 und PLANCK, U.; ZICHE, J. [Agrarsoziologie], S. 344.

Das Modell von CAMPBELL führt dabei konzeptionell wesentlich über das rationale Stadienkonzept hinaus. So fokussiert es insbesondere auf die Frage nach dem Start von Entscheidungsprozessen. Des weiteren berücksichtigt es die Tatsache, dass Entscheidungen sowohl rational als auch nichtrational getroffen werden und dass als Ergebnis beider Entscheidungsprozesse sowohl die Übernahme als auch die Ablehnung von Neuerungen stehen kann. Zusammenfassend betrachtet vernachlässigen die hier vorgestellten Schematisierungen die Einbeziehung wesentlicher entscheidungsbedingender Faktoren, so die spezifischen Innovationseigenschaften, externe markt- und einsatzbeeinflussende Variablen sowie die Unternehmens- und Anwender-Merkmale, die die Übernahme bzw. Ablehnung von Innovationen maßgeblich bestimmen.⁴²³ So ist für die weiterführende Forschung festzuhalten, dass neben dem Kommunikationsprozess als Basis der Entscheidungs-Phasen-Modelle auch andere Faktoren für die Analyse des Adoptionsprozesses heranzuziehen sind.

b.) Die S-Kurve als logistische Verteilungsfunktion

Neben der Erklärung der S-Kurve als kumulierte Nachfragefunktion kann die S-Kurve auch als logistische Verteilungsfunktion der Übernahme aufgefasst wer-

⁴²³ Vgl.: Kapitel 2.6.5.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

den.⁴²⁴ Die grundlegende Gestalt einer Übernahmefunktion ist dabei abhängig von der Art der Kommunikation betreffend die Innovation. Die nachfolgend diskutierten Grundmodelle unterstellen eine ausschließliche Imitatoren- bzw. Innovatorennachfrage als Sonderfälle einer Gesamtnachfragefunktion, die sich aus Imitatoren- und Innovatorennachfrage (S-Verteilung) zusammensetzt. Die dargestellten Verteilungsfunktionen stellen Entwicklungsprognosen auf der Basis der Variablen Zeit dar, wobei in der zugrundeliegenden Modell-Hypothese unterstellt wird, dass sich die Innovationsnachfrage ausschließlich aus der Informationsweitergabe betreffend die Neuerung ableiten lässt.

Imitatorennachfrage

Die Diffusion wird bei ausschließlicher Imitatorennachfrage als Imitationsprozess interpretiert, der durch das Wissen um die Innovation determiniert ist. Es wird angenommen, dass zum Einführungszeitpunkt t mindestens ein autonomer Unternehmer vorhanden sein muss, damit der Imitationsprozess initiiert werden kann. Die Kommunikation zwischen den bisherigen und den potentiellen Unternehmern erfolgt dabei durch persönliche Kontakte. Eine Massenkommunikation wird ausgeschlossen. Der Prozess lässt sich durch ein mathematisches Epidemiemodell beschreiben, da die Wissensweitergabe als Ansteckungsprozess interpretiert wird. Sei $\bar{N}$ das Sättigungsniveau des Marktes, so wird unterstellt, dass alle bisherigen Unternehmer $N_{(t)}$ mit allen verbleibenden potentiellen Unternehmern $[\bar{N} - N_{(t)}]$ in Berührung kommen. Die Zahl der Neuübernahmen in t ist ein konstanter Prozentsatz b dieser Kontakte. Der Koeffizient b repräsentiert dabei den Anteil der Kontakte, die zu einer Adoption führen. Er wird für alle Käufer gleich groß angenommen, was eine homogene Käuferschaft unterstellt. Somit gilt:

$$(2.25) \quad dN_{(t)} / dt = bN_{(t)}[\bar{N} - N_{(t)}].$$

Die Gleichung (2.25) entspricht daher einer logistischen Funktion, die bis zum Wendepunkt mit zunehmenden, dann mit abnehmenden Zuwachsraten monoton steigt und sich asymptotisch dem Sättigungsniveau annähert. Für folgende Fälle der ausschließlichen Imitatorennachfrage wird das logistische Modell in der Litera-

⁴²⁴ Vgl.: WINDHORST, H.-W. [Agrartechnologische Innovationen], S. 9ff.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

tur als geeignet angesehen.⁴²⁵

- (1) Die Neuerung ist komplex und sozial auffällig;
- (2) Das Marktpotential ist relativ gering und homogen;
- (3) Es besteht ein Bedarf nach zuverlässigen Informationen, der mittels Massenkommunikation nicht gedeckt werden kann.

Innovatorennachfrage

Entgegen der in Gleichung (2.25) dargestellten Funktion sind Diffusionskurven empirisch jedoch meist positiv schief. Im Extremfall ergibt sich eine konkave Funktion, die sich als Exponentialfunktion interpretieren lässt. Exponentielle Diffusionsmodelle basieren auf der Annahme, dass der Diffusionsprozess lediglich durch externe Einflussfaktoren vorangetrieben wird und der Markt demnach definitionsgemäß ausschließlich aus Innovatoren besteht. Da hier eine Imitatorennachfrage ausgeschlossen wird, erfolgt die Diffusion nicht aufgrund der interpersonellen Kommunikation sondern durch Kontakt mit einer externen Quelle, also durch Massenkommunikation.⁴²⁶ Für die Diffusionsrate bzw. die Diffusionsgeschwindigkeit gilt dabei:⁴²⁷

$$(2.26) \quad dN_{(t)} / dt = a[\bar{N} - N_{(t)}].$$

Der Koeffizient a wird als für alle potentiellen Übernehmer gleich groß unterstellt, was auch hier der Annahme einer homogenen Käuferschicht entspricht. Die kumulierte Diffusionsrate verläuft degressiv steigend, d. h. das Marktvolumen $N_{(t)}$ steigt monoton, jedoch mit abnehmenden Zuwachsraten und nähert sich asymptotisch dem Sättigungsgrad $\bar{N}$.⁴²⁸ Ungeachtet der engen Prämisse einer reinen Innovatorennachfrage kann das exponentielle Ausbreitungsmodell für folgende Innovationsfälle unterstellt werden:⁴²⁹

- (1) In der Einführungsphase besteht eine geringe Resistenz der potentiellen Übernehmer gegenüber der Innovation;
- (2) Die potentiellen Übernehmer sind voneinander isoliert;
- (3) Die Neuerung ist aus Sicht der potentiellen Übernehmer unbedeutend.

⁴²⁵ Vgl.: FANTAPIÉ ALTOBELLI, C. [Diffusion], S. 41.

⁴²⁶ Vgl.: KLEINHOLZ, R. [Diffusion], S. 339.

⁴²⁷ Vgl.: FANTAPIÉ ALTOBELLI, C. [Diffusion], S. 37ff.

⁴²⁸ In jeder Zeiteinheit wird dabei ein konstanter Bruchteil der noch nicht Informierten erreicht.

⁴²⁹ Vgl.: FANTAPIÉ ALTOBELLI, C. [Diffusion], S. 39.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Imitatoren- und Innovatorennachfrage

Wird unterstellt, dass sich die Gesamtnachfrage sowohl aus Innovatoren als auch aus Imitatoren zusammensetzt, gilt für die Diffusionsrate die Gleichung⁴³⁰

$$\text{Gleichung (2.27)} \quad dN_{(t)} / dt = [a + bN_t][\bar{N} - N_{(t)}].$$

Das Modell setzt sich additiv aus der exponentiellen und der logistischen Diffusionsfunktion zusammen, wobei diese beiden Modelle als Sonderfälle der Funktion in Gleichung (2.27) interpretiert werden können. Die Diffusionskurve verläuft bei Modellen mit gleichzeitiger Innovatoren- und Imitatorennachfrage s-förmig und ist symmetrisch zum Wendepunkt.

Die Gültigkeit der besprochenen Grundmodelle ist in der Literatur umstritten. Zwar vereinfachen die Modelle den Diffusionsverlauf erheblich, basieren jedoch gleichzeitig auf Prämissen, die den Anwendungsspielraum der Modelle stark einschränken.⁴³¹ Entsprechend der Übersicht von FANTAPIÉ ALTOBELLI können die Prämissen wie folgt beurteilt werden.⁴³²

- (1) Die im klassischen Entscheidungsmodell der Adoptionsentscheidung vorangehenden Phasen Wahrnehmung, Interesse, Bewertung und Versuch finden in den drei dargestellten Grundmodellen keine Berücksichtigung.
- (2) Der den Umfang der zwischen den aktuellen und den potentiellen Übernehmern stattfindenden Kontakte repräsentierenden Term $N_{(t)}[\bar{N} - N_{(t)}]$ impliziert ausschließlich eine vollständige und paarweise Interaktion zwischen den beiden Gruppen. Außerdem wird die realitätsferne Annahme unterstellt, dass die persönliche Kommunikation die Adoptionsentscheidung ausschließlich positiv beeinflussen kann.

Auch ist einzuwenden, dass die Kommunikation zwischen Individuen nicht rein zufällig verläuft. Vielmehr ist es realistisch, dass der Diffusionsprozess als Ergebnis einer sozial strukturierten Kommunikation zu betrachten ist.⁴³³ Empirisch konnte nachgewiesen werden, dass insbesondere Meinungsführer, soge-

⁴³⁰ Vgl.: FANTAPIÉ ALTOBELLI, C. [Diffusion], S. 42ff.

⁴³¹ Vgl.: KLEINHOLZ, R. [Diffusion], S. 339.

⁴³² Vgl.: FANTAPIÉ ALTOBELLI, C. [Diffusion], S. 44f.

⁴³³ Vgl.: PLANCK, U.; ZICHE, J. [Agrarsoziologie], S. 345f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

- nannte „change agents“, wesentliche Informationsträger betreffend einer Innovation sind.⁴³⁴
- (3) Eine Komplementaritäts- und Substitutionsbeziehung mit anderen Produkten bleibt in den Modellen unberücksichtigt.
 - (4) Ein weiterer Kritikpunkt an den beschriebenen Diffusionsmodellen ist die Fokussierung auf die Darstellung der Ausbreitung einer Produktklasse bzw. die Annahme von Monopolmärkten.
 - (5) Auch führt die Annahme, dass es sich bei der jeweils betrachteten Innovation um ein im Zeitverlauf homogenes Gut handelt, im Ergebnis zu verzerrten Aussagen betreffend den Diffusionsverlauf sowie das Marktpotential. Tatsächlich sind Gebrauchsgüter wie auch Produktionsverfahren zum Zeitpunkt ihrer Einführung i. d. R. nicht ausgereift und werden im Zeitverlauf fortlaufend weiterentwickelt.⁴³⁵
 - (6) Ebenso kann die Annahme eines im Zeitablauf konstanten Marktpotentials nicht aufrecht erhalten werden. Vielmehr ist die Annahme plausibel, dass das Marktpotential zum Einführungszeitpunkt geringer als in späteren Perioden ausfällt, da es sich u. a. aufgrund veränderter Faktor- und Produktpreisrelationen, aufgrund von institutionellen Regelungen sowie Kommunikationsmaßnahmen des Herstellers erheblich verändern kann. Aber auch eine Verringerung des Marktpotentials während des Diffusionsprozesses kann in der Realität vorliegen. Die bisherigen Ansätze, die Dynamik des Marktpotentials im Zeitverlauf autonom als auch in Abhängigkeit externer Faktoren abzubilden, haben dabei noch keine ausreichende Realitätsnähe erreichen können.
 - (7) Der nach FANTAPIÉ ALTOBELLI zentrale Kritikpunkt der Grundmodelle ist, dass – einzig auf der Basis der Variablen Zeit - lediglich Entwicklungsprognosen dargestellt werden.⁴³⁶ Selbst die zugrundeliegenden Hypothesen betreffend die Massenkommunikation bzw. die persönliche Kommunikation werden nur unzureichend mittels konstanter Diffusionskoeffizienten abgebildet. Weiterführende Modelle, in welchen die Diffusionskoeffizienten als exogene bzw. als endogene Variablen berücksichtigt werden, konnten bisher keine befriedigenden Lösungswege aufzeigen. Selbst wenn es gelingt, in den Modellannahmen eine

⁴³⁴ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 335-370.

⁴³⁵ Vgl.: KLEINHOLZ, R. [Diffusion], S. 339.

⁴³⁶ Vgl.: FANTAPIÉ ALTOBELLI, C. [Diffusion], S. 45.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

realitätsnahe Abbildung der Kommunikation zu erreichen, ist die implizite Annahme, die Adoption erfolge auf das Wissen sowohl automatisch als auch mit konstanter Verzögerung („time lag“), als sehr umstritten anzusehen.⁴³⁷

Auch lässt die einseitige Erklärung des Diffusionsverlaufs in Abhängigkeit der Merkmale der potentiellen Adopter sowie ihres jeweiligen Kommunikationsverhaltens ökonomische Ursachen für den Diffusionsverlauf, insbesondere die Analyse des Verhaltens von Anbietern und Nachfragern nach innovativen Gütern, vollständig außer Betracht. GERYBADZE hat aufgezeigt, dass ein s-förmiger Diffusionsverlauf aufgrund endogener Marktprozesse ökonomisch erklärbar ist, ohne dass zusätzliche Annahmen über die Wissensdiffusion vorausgesetzt werden müssen.⁴³⁸

So kann zum einen der s-förmige Funktionsverlauf - eine lineare Angebotsfunktion vorausgesetzt - aus der glockenförmigen Gestalt der Funktion der potentiellen Nachfrage heraus abgeleitet werden, die im zeitlichen Verlauf des Gewinnstroms, und damit der Wettbewerbsfähigkeit der Adopter, begründet ist. Wird hingegen der Einfluss der Angebotsstruktur auf den Diffusionsverlauf betrachtet, kann eine S-Kurve der Übernahme mit einem zunächst fallenden, ab einer bestimmten Höhe des Angebots jedoch wieder mit einem steigenden Funktionsverlauf erklärt werden. Hat die Angebotsfunktion jedoch eine anfangs konkave und später konvexe Gestalt, ergibt sich ein s-förmiger Diffusionsverlauf auch dann, wenn die potentielle Nachfrage mit einer gleichbleibenden Rate zunimmt. Werden zudem variable Preisgrenzen mit in die Modellbetrachtung aufgenommen, kann ein s-förmiger Diffusionsverlauf überdies durch die Wettbewerbsbedingungen auf der Angebots- und Nachfrageseite von Innovationen erklärt werden, die durch sinkende Endproduktepreise oder durch verbesserte und verbilligte Substitute zu einer Veränderung der relativen Profitabilität des innovativen Gutes führen und so das Übernahmeverhalten der Anwender prägen.

Für das Epidemiemodell insgesamt ist festzuhalten, dass es zwar als anschaulich zu bewerten, aufgrund der restriktiven Annahmen jedoch eingeschränkt in seiner Aussagekraft ist. So zeichnen sich die traditionellen Diffusionsmodelle, denen auch das Epidemiemodell (somit auch die S-Verteilung) zuzurechnen ist, durch einen

⁴³⁷ Vgl.: KLEINHOLZ, R. [Diffusion], S. 339.

⁴³⁸ Vgl.: GERYBADZE, A. [Innovation], S. 280-286.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

deskriptiven Charakter aus.⁴³⁹ Für die Entscheidungsfindung wird, ähnlich den evolutionistischen Modellen, ein institutionalisiertes Verhalten unterstellt und nicht ein Optimierungskalkül, wie es bei den neoklassischen Diffusionsmodellen und der Diffusionsmodelle mit wachsenden Skalenerträgen der Fall. Auch wird in traditionellen Diffusionsmodellen implizit ein Gleichgewichtszustand, d. h. die Verteilung der Neuerung über die gesamte Population, angestrebt. Die Tatsache, dass sich dieses Gleichgewicht nicht sofort, sondern mit einem gewissen zeitlichen Verzug einstellt, wird vor allem auf Informationsmängel sowie unterschiedliche Reaktions- und Implementierungszeiten zurückgeführt. Zudem wird die Möglichkeit einer abgebrochenen oder gar rückläufigen Diffusion weitgehend ignoriert.

Insgesamt sind in der Literatur eine Vielzahl von Ansätzen beschrieben, den Diffusionsverlauf von Innovationen zu erklären: Die Modelle reichen von s-förmigen Diffusionsverläufen, über abgebrochene S-Kurven und J-Kurven bis hin zu rückläufigen Diffusionsverläufen.⁴⁴⁰ Die S-Kurve stellt neben anderen Modellen somit lediglich den Idealfall eines wellenförmig verlaufenden Diffusionsprozesses dar.⁴⁴¹

2.6.4.2 Die Anbieter-Perspektive

Ein wesentlicher Kritikpunkt besonders an den in der Tradition SCHUMPETERS stehenden Modellen ist die strikte Trennung zwischen den Inventions- und Innovationsvorgängen einerseits und der Marktdiffusion andererseits. Dabei werden die Vorgänge zur Generierung einer Innovation im wesentlichen als durch die Angebotsseite determiniert beschrieben, während der Diffusionsprozess meist als ausschließliches Nachfragephänomen aufgefasst wird. So erklären die Modelle der Adoptionsperspektive, u.a. der Ansatz ROGERS, die Diffusion vorwiegend durch die Struktur der Nachfrage: Der Hersteller einer Innovation kann den Diffusionsprozess zwar prognostizieren, jedoch nicht verändern. Soll jedoch die gegenseitige Abhängigkeit von Anbieter- und Nachfragerverhalten analysiert werden ist es hingegen notwendig, auch die Anbieterseite in die Analyse zu integrieren. Insbesondere sind hier die Marktmodelle zu nennen, bei denen die Anbieter-Perspektive in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt wird.⁴⁴² Bei den Diffusionsmodellen mit expliziter

⁴³⁹ Vgl.: DURTH, R. [Diffusion], S. 1625.

⁴⁴⁰ Vgl.: PLANCK, U.; ZICHE, J. [Agrarsoziologie], S. 345.

⁴⁴¹ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 257-261.

⁴⁴² BROWN differenziert nach vier „Perspektiven der Diffusionsforschung, so nach der Development

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Marktperspektive wird die Adoptionsentscheidung gegenüber den nachfrageorientierten Adoptionsmodellen weniger soziologisch und mehr ökonomisch motiviert aufgefasst. Die Modelle mit Marktperspektive dienen dabei sowohl als Erklärungsmodelle zur Diffusion von Innovationen als auch als Entscheidungsmodelle für die Anbieter einer Neuerung.⁴⁴³

Wesentlicher Bestandteil des Entscheidungsmodells eines innovierenden Unternehmens ist dabei das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Innovationsstrategie. Wird die Gewinnmaximierung als wichtigster Zielinhalt und somit als Handlungsmaxime von Unternehmen unterstellt, so wird ein Unternehmen nur dann ein Produkt entwickeln und am Markt anbieten, wenn damit eine Verbesserung der Gewinnsituation gegenüber dem Zeitpunkt vor der Innovation erwartet wird.⁴⁴⁴ Da der Gewinn für ein bestimmtes Gut aus dem jeweiligen Einnahmen-Ausgaben-Überschuss resultiert, ist demzufolge neben den erwarteten Herstellungskosten die antizipierte Zahlungsbereitschaft der potentiellen Nachfrager ein entscheidender Faktor bei der Innovationsentscheidung des Unternehmers. Die Realisierung der für Anbieter und Nachfrager günstigsten Innovationsentscheidung wird jedoch durch das Vorhandensein von switching costs behindert. Diese Kosten treten bei Nachfragern im Rahmen der Adoption neuer Güter auf, entstehen aber auch dem Produzenten beim Wechsel seines Produktionsprogramms. Die bei den Produzenten von Neuerungen auftretenden switching costs können dabei wie folgt erklärt werden.⁴⁴⁵

- (1) Das Produktionsverfahren zur Herstellung des innovativen Gutes kann erheblich von dem bisherigen Produktionsmittelbestand abweichen. Die Höhe der Kosten der Produktionsumstellung ist daher vom Grad der Kompatibilität der Innovation mit der zur Verfügung stehenden Ausstattung an Produktionsmitteln

Perspective (Entwicklungsperspektive), der Adoption Perspective (Adoptionsperspektive), der Market and Infrastructure Perspective (Marktperspektive) sowie nach der Economic History Perspective (Adoptionsperspektive). Vgl.: BROWN, L. A. [Innovation], S. 3ff.

⁴⁴³ Vgl.: KLEINHOLZ, R. [Diffusion], S. 339.

⁴⁴⁴ Immer wieder wird der Gewinn als wichtigster Zielinhalt von Unternehmen in Frage gestellt. Jedoch muss festgestellt werden, dass unter den Wettbewerbsbedingungen eines marktwirtschaftlichen Systems der Unternehmenserhalt nur mittels Gewinne nachhaltig sichergestellt werden kann. Dennoch ist es nicht ganz unproblematisch, bei von großen Unsicherheiten geprägten Innovationsvorgängen eine genaue Risikoabschätzung und somit Gewinnprognose als Entscheidungsgrundlage unternehmerischen Handelns vorzunehmen. Dies sollte bei aller Kritik an der Unvollkommenheit der zur Verfügung stehenden Informationen und trotz der Bedeutung anderer Unternehmensziele nicht dazu führen, die Gewinnmaximierungsannahme vollständig zu verwerfen. Vgl.: Kapitel 2.5.3.2.

⁴⁴⁵ Die Ursachen des Auftretens von switching costs bei den Produzenten lassen sich analog auch auf die Adopter von Innovationen übertragen. Vgl.: WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 116.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

abhängig. Des weiteren kann die Umstellung der Produktion organisatorische Kosten implizieren.

- (2) Es sind Aufwendungen zu tätigen, um sowohl das neue Produkt mit den gewünschten Eigenschaften auszustatten als auch entsprechende Produktionstechniken zu entwickeln.
- (3) Im Hinblick auf den Erfolg der Entwicklung, der Produktion und der Einführung von Neuerungen können Unsicherheiten bestehen, die neben dem technischen Risiko auch in Zeit- und Kostenrisiken zum Ausdruck kommen.
- (4) Auch können neue Güter veränderte Lieferbeziehungen, Vertriebswege und Kundenbeziehungen erfordern, wodurch zusätzliche Transaktionskosten auftreten.
- (5) Ein wesentlicher Risikofaktor besteht letztendlich in der Einschätzung der tatsächlichen Präferenzen der Nachfrager. Das Verwertungsrisiko der Innovation ist somit darin begründet, dass die bei den Nutzern des neuen Gutes auftretenden switching costs nicht mindestens kompensiert werden.

Die Höhe der switching costs hängt im wesentlichen von den Parametern Neuigkeitsgrad und Komplexität der Produkt- und Produktionstechnik sowie der produzierten Stückzahl ab. Die Entscheidung eines Unternehmers innovativ tätig zu werden ist demnach in der Höhe des Innovationsgewinns G_I begründet, der als Differenz von non switching costs $K_{I\,nsw}$ und switching costs $K_{I\,sw}$ zum Ausdruck kommt.⁴⁴⁶

Gleichung (2.28)
$$G_I = K_{I\,nsw} - K_{I\,sw} > 0$$

Aus der Gleichung (2.28) lässt sich weiter ableiten, dass beim Vorhandensein von switching costs nicht zwingend das innovative Gut mit den bestmöglichen Eigenschaften am günstigsten ist. Vielmehr ist für den innovierenden Unternehmer das Gut am vorteilhaftesten, das von seinen Eigenschaften den besten Kompromiss zwischen dem optimalen und dem aktuellen Gut darstellt. Dieses vorteilhafteste Gut ist dadurch gekennzeichnet, dass sich die Indifferenzkurven der Produzenten und Nutzer der Innovation tangieren. Insgesamt ist zu erkennen, dass bei dem Vorhandensein von switching costs Effekte auftreten können, die den Innovations- bzw. den Diffusionsverlauf hemmen können. Eine Steigerung des Diffusionsprozesses

⁴⁴⁶ Vgl.: WECKWERTH, J. [Innovationstheorie], S. 119.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

bzw. des Marktpotentials kann dabei mittels des Einsatzes von absatzpolitischen Instrumenten, so der Veränderung der Güterpreise und Kommunikationsaufwendungen, erreicht werden.⁴⁴⁷

2.6.5 Der Übernahme-Prozess

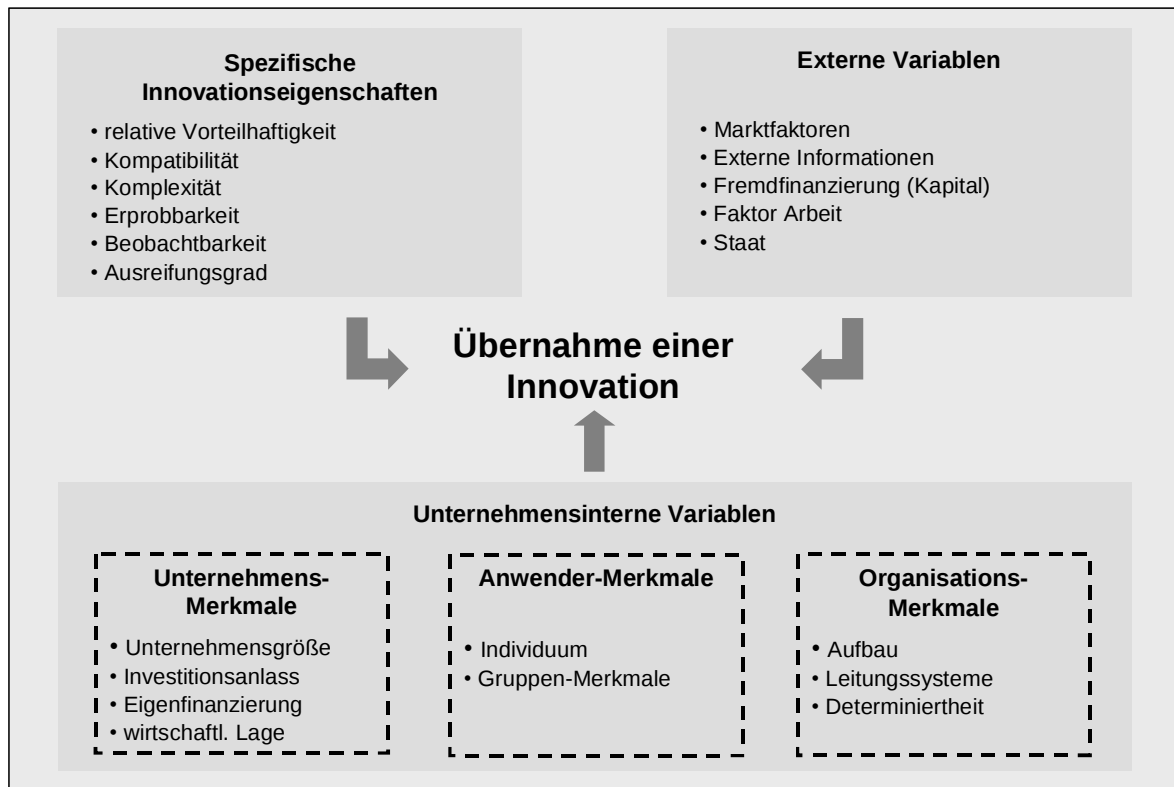
2.6.5.1 Bestimmungsgründe für die Übernahme von Innovationen

Aufgrund der hohen Komplexität und der Interdependenzen der den Diffusionsprozess beeinflussenden Größen kann nur - wie bereits oben gezeigt – ein multidisziplinärer Forschungsansatz der Analyse des Innovationsgeschehens gerecht werden.⁴⁴⁸ Ein Modell zur Übernahme von Innovationen stellt daher eine Kombination der verschiedenen Faktoren dar, die einen Einfluss auf die Übernahme von Innovationen haben, wobei die unidisziplinären Erkenntnisse in einem übergreifenden Ansatz zusammengeführt werden. Die dabei wesentlichen Einflussfaktoren können, wie in Abbildung 12 dargestellt, in drei Variablenblöcken zusammengefasst werden.

⁴⁴⁷ Die Diffusionsmodelle der Marktperspektive stellen somit eine Synthese aus den Modellen der Adoptionsperspektive und makroanalytischen Marketing-Mix-Modellen dar, die auf der konzeptionellen Basis des Produktlebenszyklus basieren. Vgl.: KLEINHOLZ, R. [Diffusion], S. 339.

⁴⁴⁸ Eine derartige Vorgehensweise ist auch aufgrund der Komplexität des landwirtschaftlichen Unternehmens als „sozio-technisches System“ unumgänglich. Vgl.: STEFFEN, G.; BORN, D. [Betriebs- und Unternehmensführung], S. 91ff.

Abbildung 12: Variablen zur Übernahme einer Innovation



Quelle: Eigene Darstellung nach MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 43.

2.6.5.2 Spezifische Innovationseigenschaften

In Bezug auf die Bewertung der diffusionsrelevanten Eigenschaften von Innovationen stehen sich grundsätzlich zwei Theorien gegenüber.⁴⁴⁹ Zum einen können alle Neuerungen in ihrer Art als gleichwertig angesehen werden, wobei eine Erklärung der Diffusion vorwiegend mittels persönlicher und situativer Faktoren erfolgt. Jedoch bestehen beträchtliche Zweifel an der Gültigkeit derartiger verallgemeinernder Messungen, da dieses Vorgehen im Hinblick auf die Realität eine unzulässige Vereinfachung des Innovationsgeschehens darstellen würde.⁴⁵⁰ Die dieser Auffassung entgegenstehende Betrachtungsweise, alle Innovationen als im wesentlichen einzigartig anzusehen, verhindert dagegen von vornherein die Möglichkeit, generalisierende Aussagen über die Verbreitung von Innovationen im Hinblick auf die un-

⁴⁴⁹ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 44f.

⁴⁵⁰ Da die Innovationen in der Realität keine gleichwertigen Einheiten darstellen, verbleiben beträchtliche Zweifel an der Gültigkeit dieser Annahmen. Vgl.: ROGERS, E. M.; SHOEMAKER, F. F. [Communication], S. 135f.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

terschiedlichen Eigenschaften zu treffen. Daher stellt der Ansatz, eine generalisierte Aussage zum Diffusionsprozess von Innovationen aufgrund der sie charakterisierenden spezifischen Eigenschaften zu treffen, eine Kombination der beiden Auffassungen dar.⁴⁵¹ Insbesondere in der Agrarsoziologie wird bereits seit längerem die Auffassung vertreten, dass die Diffusion von Neuerungen wesentlich durch die spezifischen Eigenschaften der Innovationen selbst beeinflusst wird und dass diese demzufolge in die Analyse der Bestimmungsgründe zur Erklärung des Diffusionsprozesses mit einzubeziehen sind.⁴⁵² So legten FLIEGEL und KIVLIN eine Untersuchung zur systematischen Abschätzung des Einflusses von 11 verschiedenen spezifischen Eigenschaften einer Innovation auf den Verbreitungsprozess vor.⁴⁵³ Diese lassen sich auf fünf Kerneigenschaften aggregieren, die um eine weitere, den Ausreifungsgrad, ergänzt werden kann (Abbildung 12).

Die Schwierigkeit empirischer Diffusionsstudien auf der Basis der spezifischen Eigenschaften einer Innovation besteht jedoch darin, dass diese Eigenschaften von den verschiedenen potentiellen Anwendern nicht gleichermaßen wahrgenommen werden und somit keinesfalls objektivierbar sind. Vielmehr handelt es sich um subjektiv wahrgenommene Innovations-Eigenschaften, die zudem über die Zeit variant sind.⁴⁵⁴ So kann die relative Vorteilhaftigkeit einer Innovation - je nach Anwender bzw. Anwendungsbedingungen - in einem relativ geringen Anschaffungspreis, in geringen Betriebskosten, in einer Arbeitersparnis oder in einer erhöhten Regelmäßigkeit des Kapitalflusses liegen. Abhängig von der spezifischen Situation der Investoren zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung kommt diesen Parametern eine unterschiedliche Bedeutung zu. So kann ein relativ geringerer Anschaffungspreis verbunden mit einer relativ kurzen Pay-off-Periode für kleine und mittlere Unternehmen - aufgrund der geringeren Finanzierungskraft bzw. der höheren Liquiditätsbeanspruchung - von größerer Bedeutung sein als für größere Unternehmen.⁴⁵⁵ Somit sind hier spezifische Strukturmerkmale des investierenden Unternehmens maßgebend für die relative Vorteilhaftigkeit der Innovation. Eine weitere Beeinflussung der relativen Vorteilhaftigkeit liegt in der Faktorausstattung des jeweiligen Un-

⁴⁵¹ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 44f.

⁴⁵² Zur Rolle der Neuerung im Innovationsprozess vgl.: ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse], S. 208-223.

⁴⁵³ Vgl.: FLIEGEL, F.; KIVLIN, J. E. [Farmer's Perceptions], S. 197-206.

⁴⁵⁴ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 50f.

⁴⁵⁵ Vgl.: SUNDING, D.; ZILBERMAN, D. [Agricultural Innovation], S. 241-244.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

ternehmens begründet. Daneben können sich die wahrgenommenen Eigenschaften einer Innovation nach der Übernahme ändern. Eine Objektivierung des Innovationsgeschehens wird zu dem dadurch erschwert, dass die Übernehmer einer Innovation die Innovationsentscheidung mittels einer positiven Wahrnehmung versuchen zu rationalisieren.⁴⁵⁶

2.6.5.3 Unternehmensexterne Variablen

Die Existenzfähigkeit eines Unternehmens hängt in zunehmenden Maße von dessen Anpassungsfähigkeit an die sich ändernden Umweltbedingungen ab und ist somit von der Zahl und Verschiedenartigkeit der bei den unternehmerischen Entscheidungsfindungen zu berücksichtigenden externen Faktoren bestimmt. Die Entscheidung darüber, ob eine Innovation übernommen wird, ist daher nicht nur in der Ausprägung der spezifischen Eigenschaften der Innovation selbst begründet, sondern ist gleichfalls durch eine Reihe übergeordneter struktureller Größen determiniert, die im wesentlichen in den fünf in Abbildung 12 aufgeführten Faktoren zusammengefasst werden können.

- (1) Bei der Beurteilung der externen Faktoren, die die Bereitschaft zur Investition in eine neue Technik bestimmen, kommt dem Einfluss des Marktes eine primäre Bedeutung zu. Neben der Größe des Marktes sind hier insbesondere die Marktstruktur sowie das Verhalten der Nachfrager und Anbieter von Innovationen als zentrale Einflussgrößen aufzuführen.⁴⁵⁷
- (2) Eine grundlegende Voraussetzung zur Übernahme einer Neuerung ist die Information über das Vorhandensein einer Innovation bzw. deren Eigenschaften. Die Bereitschaft und Fähigkeit verfügbare Informationen zu ermitteln und im Entscheidungsprozess einzusetzen, variiert dabei sowohl zwischen einzelnen Ländern bzw. Regionen als auch zwischen den einzelnen Unternehmen einer Industrie und hier wiederum innerhalb eines Unternehmens. Als Informationsquellen über das Vorhandensein neuer Techniken stehen potentiellen Anwendern als auch alternativen Herstellern im wesentlichen folgende Informationsquellen zur Verfügung.⁴⁵⁸

⁴⁵⁶ Vgl.: Kapitel 2.6.4.1.

⁴⁵⁷ Vgl. hierzu die Ausführung zum neoklassischen Wachstumsmodell (Kapitel 2.5.2) sowie zu Schumpeters Wettbewerbsmodell (Kapitel 2.5.3.1).

⁴⁵⁸ Vgl.: ROGERS, E. M.; SHOEMAKER, F. F. [Communication], S. 250-266.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

- Fachzeitschriften,
- Schriftliche Mitteilungen der Hersteller,
- Informationszirkel,
- Personengebundene Kontakte sowie
- Fachtagungen und –messen.

Die Bedeutung der einzelnen Informationsquellen für die Übernahme von Neuerungen variiert zwischen den potentiellen Anwendern teilweise erheblich.⁴⁵⁹

Auch ist im Hinblick auf den Einfluss von Informationen auf den Diffusionsprozess davon auszugehen, dass im Verlauf des Übernahmeprozesses den verschiedenen Informationen ein unterschiedliches Gewicht beizumessen ist. So muss davon ausgegangen werden, dass während des individuellen Übernahmeprozesses in den Phasen Wahrnehmung, Interesse, Bewertung, Versuch und Übernahme unterschiedliche Informationsquellen von den potentiellen Übernehmern zur Informationsgewinnung herangezogen werden. COPP, SILL und BROWN konnten bereits früh empirisch für die Landwirtschaft nachweisen, dass in der Phase der Kenntnisnahme überwiegend Zeitschriften, somit Medien mit einer relativ breiten und im Bezug auf die Innovation unspezifischen Rezipientenschaft, zur Informationsgewinnung herangezogen werden.⁴⁶⁰ In der darauf folgenden Interessenphase treten neben die schriftlichen Informationen insbesondere Informationen durch die Teilnahme an Demonstrationen und Vorträgen, der Besuch von Fachmessen sowie das Sammeln von Einsatzerfahrungen auf privaten Innovatoren-Betrieben bzw. landw. Versuchsbetrieben. Die in den ersten beiden Phasen gesammelten Informationen werden in der Bewertungsphase durch den direkten, interpersonellen Austausch mit Nachbarn und Kollegen ergänzt. In der Phase, die Innovationen versuchsweise anzuwenden bzw. in der Folge endgültig zu übernehmen sind schriftliche Herstellerinformationen bzw. Technik-Demonstrationen maßgeblich für das Entscheidungsverhalten des Landwirts.⁴⁶¹

Aufgrund der vorangestellten Aussagen ist es daher nicht möglich, eine generelle Gewichtung der verschiedenen Informationsquellen und –wege in bezug

⁴⁵⁹ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 75ff.

⁴⁶⁰ Vgl.: COPP, J. H.; SILL, M. L.; BROWN, E. J. [Information Sources], S. 146-157.

Als zeitgemäße Informationsquelle steht heute den potentiellen Anwendern zudem das Internet als leistungsfähiges Medium zur Informationsbeschaffung zur Verfügung.

⁴⁶¹ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S.191-197.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

auf die Verbreitung von Innovationen vorzunehmen. Ebenso erscheint aufgrund empirischer Befunde die Annahme unwahrscheinlich, dass ein Anwender sich aufgrund einer einzelnen Information zur Übernahme einer Neuerung entschließt.⁴⁶²

- (3) Die Übernahme von Neuerungen wird wesentlich davon beeinflusst, ob den potentiellen Übernehmern für die Einführung einer Innovation entsprechende Finanzierungsmittel zur Verfügung stehen.⁴⁶³ Auch für den Einfluss der Finanzierung auf die Ausbreitung von Neuerungen gilt, dass das Vorhandensein von liquiden Mitteln bzw. der Zugang zu Kapital eine notwendige, jedoch nicht bereits hinreichende Begründung für die Bereitschaft zur Übernahme einer Innovation darstellt. Vielmehr lassen sich innovationsbereite Unternehmer in ihrer Innovationsentscheidung von den Kosten des Kapitals sowie in erster Linie von den Gewinn- bzw. Nutzenerwartungen leiten, sodass selbst bei günstigen Kapitalkosten eine Investition nicht getätigt wird, wenn die Erfüllung der Gewinn- bzw. Nutzenerwartungen mit einem hohen Risiko verbunden ist bzw. diese sogar negativ ist. Eine weitere wesentliche Bedeutung für den Diffusionsprozess kommt der Art der vorhandenen Finanzierungsquellen sowie der Einstellung der jeweiligen potentiellen Investoren zu den verschiedenen Finanzierungsalternativen zu. So ist das Finanzierungspotential maßgeblich abhängig von der präferierten Finanzierungsform, wobei die Mittelbeschaffung und -rückzahlung bestimmt wird von der angestrebten Gestaltung der Zahlungs-, Informations-, Kontroll- und Sicherungsbeziehungen zwischen innovierendem Unternehmen und Kapitalgebern sowie insbesondere von Risiko- und Liquiditätsgesichtspunkten. Da die zukünftige Liquidität jedoch nicht in erster Linie von der Vermögens- bzw. der Kapitalstruktur, sondern von der Qualität zukünftiger Einzahlungen bestimmt ist, kommt der individuellen Risikoeinschätzung eine zentrale Bedeutung in der Gestaltung der betrieblichen Wachstumsfinanzierung zu. Ist das Finanzierungsrisiko und somit auch die Finanzierungskraft bei einer ausschließlichen Innenfinanzierung bzw. einer Eigenfinanzierung noch relativ ge-

⁴⁶² In Bezug auf die generelle Bedeutung von Innovationen im Diffusionsprozess ist festzuhalten, dass die Information über die Existenz einer vorteilhaften Innovation eine notwendige, jedoch keine hinreichende Bedingung zur Übernahme einer Innovation darstellt.

⁴⁶³ Vgl.: SUNDING, D.; ZILBERMAN, D. [Agricultural Innovation], S. 246ff.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

ring, steigen beide Parameter mit der zunehmenden Nutzung der verschiedenen Formen der Fremdfinanzierung deutlich an.⁴⁶⁴

- (4) Der Faktor Arbeit stellt einen weiteren wesentlichen Parameter bei der Verbreitung von Neuerungen dar. Wie bereits in den Ausführungen zur Abgrenzung technischer Fortschritte im Hinblick auf veränderte Faktorproduktivitäten sowie zur Klassifikation des technischen Fortschritts ausführlich besprochen, wird die Diffusion von Innovation besonders durch das vorhandene bzw. während der Investitionsperiode erwartete qualitative und quantitative Arbeitsangebot sowie die erwarteten Kosten für den Faktor Arbeit im Vergleich zu den Kosten für das eingesetzte Kapital beeinflusst.⁴⁶⁵
- (5) Der Einfluss des Staates auf die Verbreitung von Innovationen ist vielfältig und umfasst alle Phasen des Innovationsprozesses.⁴⁶⁶ Ohne die einzelnen Aspekte staatlicher Innovationsbeeinflussung detailliert zu besprechen, sei hier auf die wesentlichen Gesichtspunkte abgestellt. Neben der direkten Beeinflussung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten sowie der direkten Förderung der Durchsetzung des technischen Fortschritts stellt die Ausgestaltung des Patent- und Lizenzrechts einen wesentlichen Bestimmungsgrund für die Bereitschaft zur Investition in neue Verfahren und Prozesse dar. Eine weitere Möglichkeit der Einflussnahme auf die Entstehung und Verbreitung von Innovationen ist in der staatlichen Regulierung zur Verhaltensbeeinflussung von Unternehmen durch ordnungspolitische, zumeist marktspezifische Maßnahmen sowie durch das Abgaben- und Steuerrecht zu sehen. Die Regulierungsanstrengungen beziehen sich dabei im wesentlichen - sowohl auf der Faktor- als auch der Produktseite - auf die Steuerung des Marktzugangs, der Preis- und Tarifgestaltung und der Qualität sowie insbesondere bei landwirtschaftlichen Produkten auf die spezifische Mengen- und Preissteuerung.⁴⁶⁷

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Prozess zur Übernahme von Innovationen – insbesondere im landwirtschaftlichen Bereich – als ein Zusammenspiel

⁴⁶⁴ Vgl.: REISCH, E.; ZEDIES, J. [landwirtschaftliche Betriebslehre], S. 42-60.

⁴⁶⁵ Vgl.: Kapitel 2.2 und Kapitel 2.3.

⁴⁶⁶ Vgl.: SUNDING, D., ZILBERMAN, D. [Agricultural Innovation], S. 250-253.

⁴⁶⁷ Als verbreitete Regulierungsmaßnahmen sind Produktionsauflagen, Qualitätsstandards bei Produkten und Dienstleistungen, Ausnahmen vom Wettbewerbsgesetz, Berufsordnungen sowie Vorschriften der Preis- und Tarifgestaltung zu nennen.
Vgl.: HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 2], S. 338-409.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

verschiedener Prozesse und Faktoren zu begreifen ist, und nicht ein einziger Prozess oder Faktor als besonders dominierend herausgestellt werden kann.

2.6.5.4 Unternehmensinterne Variablen

Die unternehmensinternen Parameter stellen einen Variablenkomplex dar, der sich aus Einflussgrößen zusammensetzt, die im Bereich des Unternehmens selbst aber auch in bezug auf die Person wirksam sind, die eine Innovation aufgreift, über ihre Einführung befindet und gegebenenfalls ihre Übernahme bzw. Realisierung durchsetzt.⁴⁶⁸ Bilden die unternehmensexternen sowie die innovationsspezifischen Variablen den Rahmen für das mögliche oder tatsächliche Verhalten der die Innovation übernehmenden wirtschaftlichen Einheiten, so stellen die unternehmensinternen Einflussgrößen auf die tatsächliche Bereitschaft zur Übernahme von Neuerungen ab. Die unternehmensinternen Variablen lassen sich dabei in die drei Kategorien Unternehmens-, Anwender- und Organisations-Merkmale aufgliedern, wobei hier auf die beiden erstgenannten Merkmale fokussiert werden soll, da im landwirtschaftlichen Unternehmen in der Regel der Innovations-Übernehmer mit dem Inhaber der Unternehmung identisch ist, und daher der Innovator zumindest in gewissen Grenzen frei von den Zwängen formaler Organisationsstrukturen ist.⁴⁶⁹

Die verschiedenen, in Abbildung 12 aufgeführten und im weiteren näher zu betrachtenden Unternehmens- und Anwender-Merkmale können nach ihren Ausprägungen der in Kapitel 2.6.3 dargestellten Adopterkategorisierung Rogers zugeordnet werden, wodurch eine Typisierung der einzelnen Adopter ermöglicht wird. Die in Übersicht 5 dargestellte Zusammenfassung der allgemeinen verhaltens- und betriebsdifferenzierenden Merkmale der unterschiedlichen Adopterkategorien besitzt dabei einen idealtypischen Charakter. Die der Typisierung zugrunde liegenden Beziehungen zwischen der relativen Übernahmezeit und der graduellen Ausprägung

⁴⁶⁸ Vgl.: MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien], S. 75ff.

⁴⁶⁹ Im Falle landwirtschaftlicher Familienbetriebe ist der Betriebsinhaber, neben der Einbindung in eine einfache Organisationsstruktur, an deren Spitze er steht, in seiner Investitions-Entscheidung vielmehr durch nicht-formale Strukturen geprägt, die in einem Konglomerat aus Betrieb, Haushalt und Familie ihren Niederschlag finden. Vgl.: STEFFEN, G.; BORN, D. [Betriebs- und Unternehmensführung], S. 91ff.

In größeren landwirtschaftlichen Unternehmen hingegen ist der Innovator, bedingt durch das Auseinanderfallen von Kapital und Management, nicht in jedem Fall mit dem Unternehmensinhaber identisch, jedoch aber in formale Organisationsstrukturen eingebunden. Dabei treten im Rahmen des Entscheidungsprozesses zur Übernahme einer Innovation die spezifischen (persönlichen) Anwender-Merkmale zugunsten des Organisationseinflusses in den Hintergrund.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

der einzelnen Merkmale basieren auf empirischen Beobachtungen, liegen jedoch in der aufgeführten Eindeutigkeit in der Realität nicht regelmäßig vor.⁴⁷⁰

Hinsichtlich der auf die Unternehmens- und Anwender-Merkmale von früh Übernehmenden lassen sich auf der Basis umfangreicher empirischer Untersuchungen verschiedene Generalisierungen bzgl. des sozioökonomischen Status, der Persönlichkeitsmerkmale und des Kommunikationsverhaltens treffen:⁴⁷¹

(1) Im Hinblick auf den sozioökonomischen Status kann formuliert werden, dass frühe Übernehmer im Vergleich zu späten Übernehmern

- einen höheren Bildungsabschluss aufweisen,
- einen höheren sozialen Status innehaben sowie
- größere Betriebe bewirtschaften.

Ein Nachweis für eine negative Korrelation von Lebensalter und Innovationsfreudigkeit kann jedoch nicht geführt werden. Insgesamt belegen verschiedene Untersuchungen, dass sich die Gruppe der frühen Übernehmer durch die Meinungsführerschaft in ihrer sozialen Gruppe auszeichnet.

(2) Die Persönlichkeitsmerkmale früher Übernehmer zeichnen sich im Vergleich zu späteren Übernehmern insbesondere aus durch

- einen geringeren Dogmatismus,
- ein höheres abstraktes Denkvermögen,
- eine höhere Rationalität und Sachlichkeit,
- eine höhere Affinität für Veränderungsprozesse sowie
- eine höhere Wissenschaftsorientierung.

(3) Bezüglich des Kommunikationsverhaltens kann für frühe Übernehmer festgehalten werden, dass sie

- stärker in soziale Netzwerke integriert sind,
- eine stärkere kosmopolitische Orientierung aufweisen,⁴⁷²
- einen vermehrten Kontakt mit „Change Agents“ (Innovatoren) pflegen,
- eine intensivere interpersonelle Kommunikation zeigen sowie

⁴⁷⁰ Albrecht führt an, dass die aufgeführten Kombinationen zwar empirisch ermittelt sind, jedoch Typen von „konstruiert reiner Ausprägung“ darstellen. ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse], S. 54.

⁴⁷¹ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 268-280.

⁴⁷² Kosmopolitische Orientierung ist hier als die Bereitschaft eines Individuums zu interpretieren, sich über die Grenzen des eigenen sozialen Systems hinaus über Neuerungen zu informieren. Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 274.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

- Informationen über Innovationen selbständiger und aktiver suchen als die Gruppe der späten Übernehmer.

Die Persönlichkeits-Merkmale der frühen Anwender korrespondieren dabei mit den Eigenschaften der von ihnen geführten Unternehmen. Insgesamt zeichnen sich die frühen Übernehmer durch eine größere Risiko- und Innovationsbereitschaft aus, was im Hinblick auf die betriebliche Entwicklung in einer verstärkten Fremdkapitalfinanzierung zum Ausdruck kommt.

In einer Vielzahl von Einzelstudien zur Analyse der verhaltensdifferenzierenden Merkmale als unabhängige Variablen im Übernahmeprozess konnte gezeigt werden, dass insbesondere Betriebsgröße, Ausbildungsniveau, sozialer Status sowie die Häufigkeit von Informationskontakten regelmäßig signifikant positiv mit dem Übernahmemaß korrelieren.⁴⁷³ Gleichfalls sind dem entgegen in der Literatur auch Abweichungen von den erwarteten Beziehungen beschrieben, wobei in den entsprechenden Untersuchungen keine oder gegenläufige Korrelationen der genannten Variablen mit der Höhe des Übernahmemaßes nachgewiesen werden konnten. Insbesondere die den Gesamtkontext der Übernahme beschreibenden Einflussgrößen, wie die in als ähnlich empfundenen Innovations-Situationen gesammelten Erfahrungen, können dabei zu erwartungswidrigen Abweichungen führen. Daraus ergibt sich, dass außerhalb des Betrachtungsbereiches liegende Faktoren verhaltensbestimmend werden können, die Beziehungen zum Übernahme-Verhalten somit nur im gesamten Kontext der jeweiligen Entscheidungssituation existent sind. Die hohe Spezifität einer jeden Übernahmesituation führt daher dazu, dass in Untersuchungen die auf der ausschließlichen Verwendung von Multipractice-Maßen fußen, aufgrund der Betonung der verhaltensdifferenzierenden Merkmale der Übernehmenden sowohl die Art der Innovation als auch relevante vorausgegangene Ereignisse ohne Beachtung bleiben, wodurch wichtige situationsbestimmende Faktoren nicht berücksichtigt werden. Lediglich für den Fall, in dem die situationsbestimmenden Faktoren selbst keine oder eine nur geringe differenzierende Wirkung ausüben, können nach ALBRECHT Rückschlüsse von den verhaltensdifferenzierenden Merkmalen auf das zu vermutende Innovationsverhalten gezogen werden.⁴⁷⁴

⁴⁷³ Vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 252-280.

⁴⁷⁴ Vgl.: ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse], S. 59-62.

2 Grundlagen von Adoption und Diffusion technischer Fortschritte

Übersicht 5: Allgemeine verhaltens- und betriebsdifferenzierende Merkmale in der Landwirtschaft

Adopterкатегorie	Werthaltung	Ausbildung / Fähigkeiten	Gruppenbeziehungen	Sozialer Status	Betriebskennzeichen
Innovatoren	Positive Einstellung zur Wissenschaft, hohe Risikobereitschaft, „Abenteurer“	Sehr gute Ausbildung, sehr gutes abstraktes und strategisches Denkvermögen	In überregionale Netzwerke integriert, begrenzter Einfluss auf das Verhalten benachbarter Betriebe	Höchster sozialer Status	Größte Unternehmen mit weitgehender Spezialisierung, sehr gute betriebswirtschaftliche Ergebnisse, sehr gute Finanzierung
Frühe Übernehmer	Wollen von lokalen Berufskollegen „geachtet“ werden	Überdurchschnittliche Ausbildung	Leitend in lokalen Organisationen, Meinungsführer	Hohe soziale Stellung, von lokalen Berufskollegen als Vorbild betrachtet	Große Betriebe, weniger spezialisiert, gute betriebswirtschaftliche Ergebnisse
Frühe Mehrheit	Konservativ, abwägend	Durchschnittliche bis leicht überdurchschnittliche Ausbildung	Selten Führungsfunktionen, begrenzter Einfluss auf das wirtschaftliche Verhalten anderer	Durchschnittliche soziale Stellung	Durchschnittliche Betriebsgröße, mittlere betriebswirtschaftliche Ergebnisse
Späte Mehrheit	Skeptisch, erst durch Gleichgestellte zur Innovationsübernahme bereit, risikoavers	Ausbildung leicht unterdurchschnittlich	Wenig Einfluss auf das wirtschaftliche Verhalten anderer	Durchschnittliche soziale Stellung	Kleinere Betriebe, kaum Spezialisierung, geringere betriebswirtschaftliche Ergebnisse
Nachzügler	Sehr risikoavers, vergangenheitsorientiert	Schlechte Ausbildung, schlechtes strategisches Denkvermögen	Keinen Einfluss auf das wirtschaftliche Verhalten anderer	Geringe soziale Stellung	Kleine Betriebe, schlechte betriebswirtschaftliche Ergebnisse

Quelle: Eigene Darstellung nach ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse], S. 55 sowie ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 263-266.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Die zunehmende Komplexität technischer Neuerungen wie auch die wachsende Geschwindigkeit ihrer Ausbreitung hat zu einem gesteigerten Interesse an den Folgewirkungen einer zunehmenden Technisierung geführt. Die parallel mit der Implementierung neuer technischer Verfahren einhergehenden indirekt hervorgerufenen und induzierten Effekte bewirken Veränderungen der technischen, sozialen, ökonomischen, ökologischen und politischen Wirklichkeit.⁴⁷⁵ Die aus dieser Erkenntnis heraus begründeten methodischen Ansätze sollen dazu beitragen, diese Folgen möglichst frühzeitig zu erkennen, zu bewerten und zu steuern. So rückt der vielschichtige Charakter von Innovationen in den Vordergrund der wissenschaftlichen Betrachtung.⁴⁷⁶

Im folgenden Kapitel der Arbeit wird das Konzept der Technikfolgenabschätzung in seinen Grundzügen dargestellt. Nach der Darlegung von Zielen und Methoden sowie der Diskussion verschiedener Modellklassen wird das Konzept einer kritischen Betrachtung unterzogen. Hieran schließen sich Ausführungen zur bisherigen Technikfolgenabschätzung im Bereich der Landwirtschaft an. Das Kapitel findet mit der Entwicklung einer Gesamtkonzeption einer Technikwirkungsanalyse für automatisierte Melkverfahren seinen Abschluss.

3.1 Das Konzept der Technikfolgenabschätzung

3.1.1 Entstehung und Ziel des Konzepts zur Technikfolgenabschätzung

Zur Verwendung des Begriffs „Technikfolgenabschätzung“ bzw. „Technology Assessment“ sind in der Literatur eine Vielzahl von Definitionsansätzen gebräuchlich.⁴⁷⁷ Auch finden andere Begriffe wie „Technik-Bewertung“, „Technikfolgen-

⁴⁷⁵ Vgl.: DIERKES, M; HÄHNER, K. [Konzeptentwicklung], S. 1ff.

⁴⁷⁶ Vgl.: NEUMANN, B. [Technikchancenabschätzung], S. 30, JISCHA, M. [Technikfolgenabschätzung], S. 165-79, ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 9-15 und KORNWACHS, K. [ethisches Handeln], S. 181-185.

⁴⁷⁷ Der aus dem Englischen stammende Begriff „Technology Assessment“ wird oftmals mit „Technikfolgenabschätzung“ übersetzt. Dieser Terminus besitzt jedoch gewisse Ungenauigkeiten. So bedeutet „Assessment“, im Gegensatz zu „Abschätzung“, einen rationalen Bewertungsprozess.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Bewertung“, „Technikfolgen-Analyse“ und „Technikwirkungsanalyse“ Verwendung,⁴⁷⁸ welche hier im folgenden synonym Verwendung finden sollen. Das Akronym „TA“ steht hierbei für die vorgenannten Begriffe.

Eine der ersten in der deutschen Literatur verwendeten Definitionen stammt von PASCHEN, GRESSER UND CONRAD. Das Konzept der Technikfolgenabschätzung umfasst demnach Untersuchungen, die darauf ausgerichtet sind, „die Auswirkungen der erstmaligen Anwendung neuer oder in der Entwicklung befindlicher bzw. der verstärkten oder modifizierten Anwendung bekannter Technologien (einschließlich sozialer Technologien) systematisch zu erforschen und zu bewerten, wobei das Schwergewicht auf die unbeabsichtigten, oft mit beträchtlicher Verzögerung eintretenden Sekundär- und Tertiäreffekte gelegt wird. TA-Untersuchungen sollen die Effekte der Technologieanwendung in möglichst allen (betroffenen) Teilbereichen der Gesellschaft und ihrer natürlichen Umwelt antizipieren, darstellen und bewerten“.⁴⁷⁹

Die Entwicklung der Technikfolgenabschätzung stellt sich in der Vergangenheit in drei Etappen - oder auch Generationen - dar, welchen man eine vierte, neue hinzufügen kann.⁴⁸⁰ Während die ersten beiden Generationen bis etwa zur Mitte des 20. Jahrhunderts durch eine ingenieurwissenschaftlich geprägte, reaktive Technikregulierung geprägt waren, die sich lediglich im Grad der Institutionalisierung der staatlichen Technikbeobachtung unterschieden, ist für die dritte Generation eine stärkere Dominanz der sozialwissenschaftlichen Technikfolgenforschung zu konstatieren.⁴⁸¹ Die Arbeiten zur Technikfolgenabschätzung in der vierten Generation

Vgl.: WEBER, J. U.A. [Technology Assessment], S. 10.

Auf Übersetzungsfehler bzgl. des Begriffs „technology“ weist ROPOHL hin. Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 162f.

Auch umschreibt der Begriff „Technologie“ eine weniger strikte Abgrenzung zu benachbarten Wissenschaftsdisziplinen als dies durch den Begriff „Technik“ zum Ausdruck kommt. So drückt „Technologie“ (gr.: téchne = Technik und logós = Vernunft) im engen Sinne die Wissenschaft von der Technik aus. Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 24 sowie BULLINGER, H.-J. [Technikpotentialabschätzung], S. 105.

Die Bedeutung des Begriffs variiert je nach Verwendungszusammenhang in der Mikroökonomik oder Soziologie. o. V.: [Technologie], S. 3022f.

⁴⁷⁸ Vgl.: MORAWITZ, C. [Einsatz von rbST], S. 56.

⁴⁷⁹ Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment]: S. 19.

⁴⁸⁰ Vgl.: DIERKES, M.; HÄHNER, K. [Konzeptentwicklung], S. 104. Eine leicht zugängliche Darstellung zur Entwicklungsgeschichte der Technikbewertung findet sich bei ROPOHL. Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 159-180.

⁴⁸¹ Vgl.: MORAWITZ, C. [Einsatz von rbST], S. 61f

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

zielen darauf ab, auf eine Technik schon während ihrer Entstehung (Technikgenese) steuernd einzuwirken.⁴⁸²

Bereits in den 50er Jahren des 20. Jh. wurden vor allem in den USA Studien zum Technological Forecasting durchgeführt. Die Untersuchungen zur Abschätzung der wahrscheinlichen Verfügbarkeit technischer Innovationen waren darauf ausgerichtet, sowohl private Unternehmen als auch staatliche Stellen in Fragen von Forschung und Entwicklung wie auch Investitionen im Allgemeinen zu unterstützen.⁴⁸³

Parallel hierzu etablierte sich, vor allem unter dem Eindruck von aufkommenden, potentiell gefährlichen Großtechnologien, das neue Forschungsgebiet des Technology Assessment als eine rein technikinduzierte Betrachtungsweise, um die erwünschten Wirkungen (sog. Primärvorteile) als auch die Neben- und Folgewirkungen einer Technik zu untersuchen. Diese technikreflektierende Betrachtung mündete, basierend auf dem (staatlichen) Vorsorgeprinzip,⁴⁸⁴ 1972 in der Gründung des Office of Technology Assessment (OTA) beim Kongress der Vereinigten Staaten (Auflösung 1995).⁴⁸⁵ Das Konzept der Technologienabschätzung stellt sich daher in seiner ursprünglichen Konzeption als ein Analysekonzept mit der Absicht der Politikberatung dar.⁴⁸⁶ Eine politische Techniksteuerung, die auf die Verantwortung des Staates für den Prozess des technischen Fortschritts abhebt, ist der Gesamtkonzeption von der Technikfolgenabschätzung somit inhärent.

In Europa hat, etwa 15 Jahre nach den USA, die Technikfolgenabschätzung sehr an Raum gewonnen. So haben sich, eingepasst in die jeweiligen politischen Traditionen, Institutionen zur Technikfolgenabschätzung etabliert. Unterschiede bestehen in ihrer jeweiligen Nähe zur Legislative bzw. Exekutive, zur Wissenschaft und

⁴⁸² Vgl.: DIERKES, M.; HÄHNER, K. [Konzeptentwicklung], S. 105ff.

⁴⁸³ Vgl.: GRAY, L. [OTA Reports], S. 302ff.

ROPOHL unterscheidet in informelle und formelle Technikbewertung. In der Aufarbeitung der Geschichte der TA datiert er unausgesprochen den Beginn der modernen Technikfolgenabschätzung auf das Erscheinen des Begriffs „*technology assessment*“ im Jahre 1966 in den USA. Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 168.

⁴⁸⁴ Vgl.: GLEICH, A. v. [Vorsorgeprinzip], S. 287-293.

⁴⁸⁵ Vgl.: GIBBONS, J. [Entwicklungsgeschichte], S. 26f.

Zur Etablierung und Arbeit des OTAs' vgl.: GRAY, L. [OTA Reports], S. 299-319, COATES, J. [Technikfolgenabschätzung in den USA], S. 53-64; WOOD, F. [Congressional Office], S. 211-222 sowie TAB [OTA], S. 24-25.

⁴⁸⁶ Vgl.: DIERKES, M.; HÄHNER, K. [Konzeptentwicklung], S. 101.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

zu gesellschaftlich relevanten Gruppen, letztlich zur Öffentlichkeit.⁴⁸⁷ Die große Vielfalt von Institutionalisierungsformen liegt darin begründet, dass weder ein eindeutiger politischer Entscheidungszweck noch ein einheitlicher Erstellungs- und Verwendungszusammenhang für TA dominiert. Dabei reicht das Spannungsverhältnis für die Institutionalisierung von TA zwischen Entscheidungsnähe und Öffentlichkeitsnähe.⁴⁸⁸ Zur institutionellen Verankerung der Technikfolgenabschätzung in Deutschland wurde 1990 das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) als eine reine parlamentarische TA-Einrichtung gegründet. Diesem ging als zentrale Instanz für TA-Aktivitäten das 1982 geschaffene „Referat für Systemanalyse, Prognose und Technikfolgenabschätzung“ des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMBF) voraus.⁴⁸⁹

3.1.2 Ausgestaltung des Konzepts der Technikfolgenabschätzung

3.1.2.1 Systematisierung unterschiedlicher Ansätze

In der Literatur werden zur Systematisierung der unterschiedlichen Ansätze verschiedene Arten der Technikfolgenabschätzung entsprechend ihres jeweiligen Beweggrundes (Anlass) hinsichtlich des Zeitpunktes der Betrachtung in Bezug auf das Anschauungsobjekt wie auch unter dem Blickwinkel der Vollständigkeit der Analyse typisiert. Die Grenzen der definierten Kategorien sind jedoch in der Konsequenz ihrer Anwendung zueinander unscharf.⁴⁹⁰ Eine eindeutige Zuordnung der gewählten Vorgehensweise kann somit in aller Regel nicht getroffen werden.

⁴⁸⁷ Eine Bestandsaufnahme zur supranationalen Technikfolgenabschätzung in Europa gibt WEBER u.A. Vgl.: WEBER, J. u.a.: [Technology Assessment], S. 88-110. Zur parlamentarischen Technikfolgenabschätzung in Europa sei hier sowohl auf VON BERG als auch auf PEISSEL verwiesen. Vgl.: BERG, I. v. [Parlamentarische TA], S. 229-246 sowie PEISSEL, W. [Europa], S. 469-477. Für eine gegenüberstellende Analyse der Technikfolgenabschätzung von Europa, Kanada und Japan vgl.: COATES, V.; FABIAN, T. [Europa and Japan], S. 343-361.

⁴⁸⁸ Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 26-29.

⁴⁸⁹ Ein ausführlicher Überblick über Technikfolgenabschätzung in Deutschland findet sich in WEBER u.A. Vgl.: WEBER, J. u.a. [Technology Assessment], S. 25-86. Vgl. auch PASCHEN, H. [Deutschland], S. 77-93 und KRUPP, H. [Politische Erfolgchancen], S. 61-73, COENEN, R.; FÜRNIß, B.; KUPSCH, C. [Bestandsaufnahme], S. 219-228 sowie STÖTZEL, M.; BARON, W. [BMBF], S. 509-513.

⁴⁹⁰ Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 9ff.

(a) Einteilung nach dem Anlass der Technikfolgenabschätzung⁴⁹¹

i. Projekt-induzierte Technikfolgenabschätzung⁴⁹²

Projekt-induzierte Technikfolgenabschätzungen befassen sich mit der spezifischen Anwendung einer Technologie, sind daher projekt- und somit standortgebunden.

ii. Technik-induzierte Technikfolgenabschätzung⁴⁹³

Technik-induzierte Technikfolgenabschätzungen haben beabsichtigte und unbeabsichtigte Auswirkungen neuer oder in der Entwicklung befindlicher Technologien zum Gegenstand.

iii. Problem-induzierte Technikfolgenabschätzung⁴⁹⁴

Demgegenüber ist die problem-induzierte Technikfolgenabschätzung auf die aktuellen wie die für die Zukunft vorhersehbaren Probleme der Gesellschaft gerichtet. Ausgehend von der definierten Problemlage werden die Lösungsbeiträge einer oder mehrerer Technologien bewertet.

(b) Einteilung nach dem Zeitpunkt der Technikfolgenabschätzung⁴⁹⁵

i. Projektive Technikfolgenabschätzung

Bei dieser Konzeption findet zeitlich vor der Implementierung einer neuartigen Technologie die Erforschung ihrer wahrscheinlichen Folgewirkungen projektiv statt. Alternative Entwicklungspfade werden im Vergleich zu der betrachteten Technologie dargestellt und bewertet. Diese Vorgehensweise stellt hohe Anforderungen an die Prognosegüte der betrachteten Entwicklungspfade wie auch an die Bewertung der sie beeinflussenden Rahmenbedingungen.

⁴⁹¹ Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 17.

⁴⁹² Projektinduzierte Technikfolgenabschätzungen stellen oftmals eine Kombination technik- und probleminduzierter Vorgehensweisen dar. Vgl. ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 185.

⁴⁹³ Vgl.: SKORUPINSKI, B.; OTT, K. [Technikfolgenabschätzung und Ethik], S. 39f.

⁴⁹⁴ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 183f sowie SKORUPINSKI, B., OTT, K. [Technikfolgenabschätzung und Ethik], S.39f.

⁴⁹⁵ Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 17ff.

ii. Reaktive Technikfolgenabschätzung⁴⁹⁶

Reaktive Analysen haben die Folgewirkungen einer Technologie zum Gegenstand, nachdem diese bereits zur Anwendung gekommen ist.

iii. Retrospektive Technikfolgenabschätzung⁴⁹⁷

Die retrospektive Technikfolgenabschätzung stellt eine vergangenheitsbezogene Analysekonzeption dar. Anhand von sogenannten „case histories“ wird hier aufgezeigt, an welchen Entscheidungspunkten eine Beeinflussung der Technologieanwendung die durch sie hervorgerufenen Folgewirkungen in Art und Wirkung verändert hätte.

Unter dem Blickwinkel der Vollständigkeit der Analyse können die Konzepte der Technikfolgenabschätzung in partielle wie umfassende Ansätze gegliedert werden, sodass sich in der Gesamtbetrachtung eine dreidimensionale Struktur zur Beschreibung der einzelnen TA-Konzeptionen ergibt.⁴⁹⁸

Die Diskussion um den konzeptionellen Ansatz bei der Beurteilung einer Technik hat im Zuge eines Paradigmenwechsels zu einer Abkehr von technikinduzierten Vorgehensweisen hin zu probleminduzierten Betrachtungen geführt. Damit wird der Wechsel von einer risikoorientiert-reaktiven hin zu risiko- und potentialorientierten Konzeptionen beschritten.⁴⁹⁹ Den Vorteilen technikinduzierten Bewertungen, welche in der Operationalisierbarkeit der Fragestellung sowie in der Überprüfbarkeit der Ergebnisse bestehen, stehen die reaktive sowie die auf Einzeltechniken bzw. -technologien fokussierte Vorgehensweise als Nachteile gegenüber.⁵⁰⁰ Probleminduzierte Analysen haben den Vorzug, dass grundlegende gesellschaftliche Bedürfnisse – hier als Problem titulierte – in einem ergebnis- wie auch möglicherweise in einem teilnehmeroffenen Lösungsverfahren behandelt werden.⁵⁰¹ SKORUPINSKI UND OTT betonen die Schwierigkeiten dieses Ansatzes, indem sie darauf hinweisen, dass sich hier bei der Behandlung eines Problems ein weiterer Problemhorizont aufzeigen kann, was eine ständige Anpassung der ursprünglichen Fragestellung

⁴⁹⁶ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 229-233.

⁴⁹⁷ Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 18.

⁴⁹⁸ Vgl.: PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 10.

⁴⁹⁹ Vgl.: WEBER, J. U.A. [Technology Assessment], S. 1f.

⁵⁰⁰ Vgl.: SKORUPINSKI, B.; OTT, K. [Technikfolgenabschätzung und Ethik], S. 39f.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

erfordert, wodurch die Anwendung einer seriösen Methode der Technikfolgenforschung nicht mehr möglich sei.⁵⁰² Dieser Kritik kann jedoch damit begegnet werden, dass aus pragmatischen Gründen eine kombinierte Vorgehensweise aus technik- und probleminduzierter Vorgehensweise gefunden wird, welche in einem festgefügtten Ablaufschema umgesetzt wird.

Der Paradigmenwechsel in der Technikfolgenabschätzung ist in der Richtlinie VDI-Richtlinie 3780 konkretisiert.⁵⁰³ Entsprechend der normativen Betrachtung der Technikfolgenabschätzung ist Technikbewertung demnach das „planmäßige, systematische, organisierte Vorgehen, das

- den Stand der Technik und ihre Entwicklungsmöglichkeiten analysiert;
- unmittelbare und mittelbare technische, wirtschaftliche, gesundheitliche, ökologische, humane, soziale und andere Folgen dieser Technik und möglicher Alternativen abschätzt;
- aufgrund definierter Ziele und Werte diese Folgen beurteilt oder auch weitere wünschenswerte Entwicklungen fordert sowie
- Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten daraus herleitet und ausarbeitet,

so dass begründete Entscheidungen ermöglicht und gegebenenfalls durch geeignete Institutionen getroffen und verwirklicht werden können.“⁵⁰⁴

Mit dem Paradigmenwechsel geht auch eine Betonung der Steuerungsfunktion in der technikreflektierenden Forschung einher, was in der Etablierung von partizipativen und innovationsorientierten Ansätzen zum Ausdruck kommt. Diese stehen im Gegensatz zu der klassischen, reaktiven, hauptsächlich auf die „Frühwarnfunktion“ beschränkte, politikberatende Technikfolgenanalyse.⁵⁰⁵ So können, ausgehend von

⁵⁰¹ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 183f.

⁵⁰² Vgl.: SKORUPINSKI, B.; OTT, K. [Technikfolgenabschätzung und Ethik], S. 39f.

⁵⁰³ Vgl.: HENNING, K. [Technikgestaltung], S. 1f.

⁵⁰⁴ Vgl.: VDI [Richtlinie 3780], S. 2. Da in der Neuauflage dieser Richtlinie der Originaltext unverändert blieb, wird aus der Ausgabe von 1991 zitiert.

VDI-Richtlinien stellen anerkannte Regeln der Technik und Maßstäbe für einwandfreies technisches Verhalten dar. Zu Grundlage, Ziel, Inhalt und Erarbeitung von VDI-Richtlinien vgl.: VDI [Richtlinie 1000]. In der Folge der VDI 3780 ist die Technikbewertung in Deutschland als anerkannte technische Regel anzusehen.

⁵⁰⁵ VAN EIJNDHOVEN gibt eine gute Übersicht über den Paradigmenwechsel in der Technikfolgenbewertung. Sie unterscheidet das *classical technology paradigm*, das *OTA paradigm* sowie de-

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

der oben genannten Definition, Konzepte zur Durchführung einer erfolgreichen Technikwirkungsanalyse entwickelt werden.

3.1.2.2 Das Konzept von PASCHEN und PETERMANN

Ein in der Literatur viel beachtetes Konzept zu einer „idealen“ Technikfolgenabschätzung (sog. „Idealkonzept“) haben PASCHEN UND PETERMANN vorgestellt.⁵⁰⁶ Dabei handelt es sich um die Voraussetzungen zur Durchführung einer erfolgreichen Technikfolgenabschätzung. Die im folgenden aufgeführten Postulate umschreiben somit in ihrer Aussage ein „strategisches“ Rahmenkonzept:⁵⁰⁷

- (1) antizipatorische Orientierung („Frühwarnung“),
- (2) umfassend in Identifizierung, Abschätzung und Bewertung von Auswirkungen (Folgen),
- (3) interdisziplinäre, nicht isolierte Betrachtung,
- (4) partizipatorische Orientierung,
- (5) Entscheidungsorientierung und
- (6) Nachvollziehbarkeit.

Die Forderung nach der Frühwarnung (early warning) über mögliche Auswirkungen einer Technikanwendung repräsentiert auch hier den programmatischen Kern des Konzeptes.⁵⁰⁸ So sollen Technikwirkungsanalysen - notwendiger Weise in kurzem Zeitraum - die Realisierungsbedingungen von neuen Techniken antizipieren, um die sich aus ihrer Anwendung ergebenden Chancen und Gefahren möglichst frühzeitig zu erkennen.⁵⁰⁹ Als ein weiteres zentrales Element ist die im zweiten Postulat geforderte Vollständigkeit in der Betrachtung möglicher Folgen anzusehen.⁵¹⁰ Da-

ren europäische Varianten von dem *public* und *technology assessment*. Vgl.: VAN EIJNDHOVEN, J. [Technology Assessment], S. 275-282.

⁵⁰⁶ Vgl.: PASCHEN, H.; PETERMANN, T. [Technikforschung und Politikberatung], S. 26ff.

⁵⁰⁷ Vgl.: PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 7f.

Ursprünglich wurden von PASCHEN und PETERMANN fünf Postulate formuliert, welche hier in Anlehnung an SKORUPINSKI und OTT zu sechs erweitert werden. SKORUPINSKI, B.; OTT, K. [Technikfolgenabschätzung und Ethik], S. 28.

⁵⁰⁸ VGL.: CHRISTENSEN, R. [Vorhersagetechnik], S. 94-98.

⁵⁰⁹ Vgl.: ZAHN, E.; BRAUN, F. [Techniktrends], S. 10.

⁵¹⁰ Diese Forderung kann jedoch als eine oftmals nicht erfüllbare Idealvorstellung angesehen werden. Vgl.: SKORUPINSKI, B.; OTT, K. [Technikfolgenabschätzung und Ethik], S. 28f.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

bei soll der Schwerpunkt auf die nicht unmittelbar erkennbaren Folgen gelegt werden. Dies unterstellt das prospektive Wissen um (zukünftige) Chancen und Risiken einer Technik. Die Bewertung von Spätfolgen eines technologischen Eingriffs schließt die Forderung nach der Anwendung von Methoden ein, welche auch langfristig gesicherte Ergebnisse hervorbringen. Weiterhin bedingt der Anspruch nach der Vollständigkeit der Betrachtung von Folgen technischen Wandels, aufgrund der Komplexität der beeinflussten Systeme, ein koordiniertes, interdisziplinäres Vorgehen.⁵¹¹ Dieses stellt die Voraussetzung für eine nicht isolierte Betrachtung der Zieltechnologie dar, wodurch alternative Lösungen in die Untersuchung mit einbezogen werden können. So ist es möglich, Handlungsoptionen entscheidungsorientiert zu entwickeln.⁵¹² Hierbei wird jedoch der Übergang von einer technik-induzierten hin zu einer problem-induzierten Analyse vollzogen. Dies bedingt - aufgrund der Fragestellung - die Erstellung von Szenarien. Da diese, deutlich abweichend von der reinen quantitativen Prognostik (z.B. Zeitreihenanalysen),⁵¹³ verschiedene mögliche Zustände einer zukünftigen Realität abbilden, ist eine breite Beteiligung betroffener Gruppen notwendig.⁵¹⁴ Diese Partizipation, welche ein charakteristisches Merkmal dieses Ansatzes darstellt, ist jedoch nur für das vorhandene relevante Expertenwissen der Betroffenen zu fordern, um den Analyseprozess tatsächlich entscheidungsorientiert zu gestalten.⁵¹⁵ Das Gebot der Nachvollziehbarkeit von Ergebnissen der Technikfolgenabschätzung ist keine direkte Folge eines breit angelegten Untersuchungsdesigns. Es basiert auf der wissenschaftstheoretischen Notwendigkeit nach Transparenz, also somit auf der Veröffentlichung sowohl der Ergebnisse als auch der Bewertungsmethoden und Verfahren der Analyse.⁵¹⁶

⁵¹¹ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 181.

⁵¹² Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung im Bereich der Landwirtschaft]: S. 8.

⁵¹³ Vgl.: BULLINGER, H.-J. [Technikpotentialabschätzung], S. 108-109.

⁵¹⁴ Ein Charakteristikum von Technikfolgenabschätzungen stellt die Tatsache dar, dass die für eine Analyse notwendigen Informationen dezentral vorliegen und die Kausalzusammenhänge eine hohe Komplexität besitzen. Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung im Bereich der Landwirtschaft]: S. 8.

⁵¹⁵ Vgl.: SKORUPINSKI, B.; OTT, K. [Technikfolgenabschätzung und Ethik], S. 32.

⁵¹⁶ Vgl.: Nach ROPOHL ist die Technikbewertung grundsätzlich publizitätsbedürftig, um deskriptive und normative Einseitigkeiten aufzuzeigen bzw. zu verhindern. Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und

3.1.3 Konzeptionelle Integration der Diffusionsforschung in das Konzept einer erweiterten Technikfolgenabschätzung

Die potentiellen Einsatzgebiete⁵¹⁷, die daraus resultierenden möglichen Einsatzumfänge sowie die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Technologie haben einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung möglicher Folgen ihrer Anwendung. Ausgehend von der Analyse des Standes von Forschung und Entwicklung ist es daher notwendig, Aussagen zum zeitlichen Verlauf des Innovationsprozesses zu gewinnen, wobei gleichfalls technologische Entwicklungspotentiale aufgezeigt werden können.⁵¹⁸ Das Akzeptanzproblem einer Innovation repräsentiert somit den Kern der Gemeinsamkeiten zwischen Diffusionsforschung und klassischer Technikfolgenabschätzung.

Der zentrale Unterschied zwischen beiden Konzepten manifestiert sich in divergierenden Betrachtungen der Nutzenstiftung einer Technologie. Wo bei einer klassischen Technikfolgenanalyse die – positiven und negativen – Auswirkungen Gegenstand der Bewertung sind, wird die positive Nutzenstiftung einer Technologie für potentielle Anwender bei einer Diffusionsbetrachtung als notwendige Voraussetzung für die Analyse angesehen. Der unterschiedliche Forschungsgegenstand ist auf die verschiedenen Adressaten und der damit jeweilig verfolgten Zielsetzungen beider Analysen zurückzuführen.⁵¹⁹

- Im Gegensatz zur klassischen politikberatenden Technologiewirkungsanalyse sind die Ergebnisse der Diffusionsforschung an den Technikerzeuger gerichtet;
- Die Diffusionsforschung betrachtet konkrete Innovationen und lässt übergeordnete Fragestellungen nach technologischen Entwicklungslinien und der Früherkennung von Entwicklungstendenzen außer Betracht;
- Die Technikfolgenanalyse ist gemeinwohlorientiert, wo hingegen die Diffusionsforschung mit dem Ziel einer besseren Ausschöpfung von Markt - und

Technikbewertung], S.303.

⁵¹⁷ Hierunter sind sowohl generelle Einsatzmöglichkeiten als auch standort-beeinflusste Nutzungspotentiale zu verstehen.

⁵¹⁸ Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 16f.

⁵¹⁹ Vgl.: PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung und Diffusionsforschung], S. 50f.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Wohlfahrtspotentialen betrieben wird;

- Der Zeithorizont der Analyse ist im Falle der Diffusionsforschung kurz- bis mittelfristig, kann bei Technikfolgen-Abschätzungen hingegen auch langfristig sein.

Eine Synthese von Diffusions- bzw. Innovationsforschung und Technikfolgenabschätzung sowie gleichsam eine Weiterentwicklung im Paradigma der Technikfolgenforschung stellen die Überlegungen von ROPOHL zur „Innovativen Technikbewertung“⁵²⁰ sowie das aus den Niederlanden stammende Konzept einer „Konstruktiven Technikfolgenabschätzung“ (*engl. Constructive Technology Assessment, CTA*)⁵²¹ dar. Der generelle Ausgangspunkt für diese Überlegungen sind die Defizite, mit denen die reaktive Technikfolgenabschätzung behaftet ist.⁵²²

Unterschiede ergeben sich aus der Zielrichtung der Konzepte. So versucht die CTA, die Produktentwicklung mittels der Beeinflussung der staatlichen Technologiepolitik zu steuern.⁵²³ Hingegen ist es Ziel der innovationsorientierten Technikfolgenabschätzung, sowohl die *innovationsorientierte Technikfolgenabschätzung* als auch die *Technikbewertung und -gestaltung (ITA)* im Planungs- und Entscheidungsprozess von Unternehmen zu etablieren.⁵²⁴ Liegt der Fokus der innovationsorientierten Technikfolgenabschätzung demnach auf der Technikgeneseforschung, werden im Rahmen der in Deutschland seither kaum beachteten konstruktiven Technikfolgenanalyse Strategien genutzt, um in einem gesellschaftlichen Lernprozess Technik zu gestalten. Hierbei ist vor allem das Konzept des *Strategischen Nischen-Managements (SNM)* von Bedeutung, bei welchem es sich um eine Strategie zur Markteinführung neuer Technologien handelt, wobei der Einführungs- und Verbreitungsprozess sowohl im Sinne technologischer als auch sozioökono-

⁵²⁰ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 259-283.

⁵²¹ Vgl.: VAN BOXSEL, J.: [Konstruktive Technikfolgenabschätzung], S. 137-154 sowie SUNDERMANN, K. [Constructive Technology Assessment], S. 119-128.

⁵²² Zur Diskussion der reaktiven Technikbewertung vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 229-233. ROPOHL führt an anderer Stelle aus, dass die Technikfolgenanalyse deshalb wenig bewirkt habe, da sie reaktiv ist und somit nicht auf die Bedingungen der Technikgenese einwirken kann. Vgl.: ROPOHL, G. [Innovative Technikbewertung], S. 83.

⁵²³ Vgl.: SUNDERMANN, K. [Constructive Technology Assessment], S. 127.

⁵²⁴ ITA stellt nach STEINMÜLLER, TACKE und TSCHIEDEL ein ausgearbeitetes und in Einzelheiten erprobtes Konzept der Technikfolgenanalyse dar, welches in allen innovationsrelevanten Kontexten zum Einsatz kommen kann. Vgl.: STEINMÜLLER, K.; TACKE, K.; TSCHIEDEL, R. [Technikfolgenabschätzung], S. 143.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

mischer Aspekte betrachtet wird. Dies hat das Ziel, durch eine intensive Auseinandersetzung mit potentiellen Nutzern eine fortwährende Weiterentwicklung der Technik und somit eine Etablierung am Markt zu erreichen.⁵²⁵

So wird hier aufbauend auf dem in Kapitel 2 dargestellten klassischen Innovationsmodell generell eine Konzeption der Technikbewertung entwickelt, welche durch die beiden Mechanismen *Technikfolgenanalyse* und *Techniksteuerung* interaktiv in alle Phasen des Innovationsprozesses einwirken kann. Dies hat den Vorteil, dass die Technikfolgenanalyse gestaltend, also mithin innovativ, in die Prozesse der Konstruktion, der Einführung und der Anwendung einer neuen Technik eingebunden ist, womit auch Aspekte der Adoption und Diffusion konzeptionell integriert sind.⁵²⁶ So lässt sich ein Bewertungskonzept beschreiben, welches in allen Etappen des Lebenszyklusses einer Technologie Anwendung finden kann.⁵²⁷ Da, wie gezeigt, technologische Entwicklungen – und dies trifft vor allem auf den Innovationsprozess zu – keine geradlinigen Prozesse darstellen, sondern vielmehr von Zufällen und Interaktionen abhängig sind, ist eine prozessuale, begleitende Technikbewertung über einen nicht vorausschaubaren Lebenszyklus einer Technologie anzustreben.

Die Anwendung der Technikfolgenabschätzung auf alle Phasen des Technologielebenszyklusses bietet eine Reihe von Vorteilen:⁵²⁸

- Umfassendere Betrachtung von Innovationsprozessen,
- Berücksichtigung von Technikalternativen,
- Steigerung der Wohlfahrt durch eine Beschleunigung des Innovationsprozesses, und somit der Diffusion, von erwünschten Technologien,
- Bessere und frühzeitigere Anpassung von Innovationen an das Verwendungsumfeld.

⁵²⁵ Vgl.: SUNDERMANN, K. [Constructive Technology Assessment], S. 120.

⁵²⁶ Vgl.: PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung und Diffusionsforschung], S. 53.

⁵²⁷ Vgl.: VAN BOXSEL, J. [Konstruktive Technikfolgenabschätzung], S. 144ff.

Nach ROPOHL ist eine Technikbewertung bereits im Stadium der Kognition möglich, jedoch sollte die Grundlagenforschung aufgrund prognostischer Probleme ausgenommen werden. Vgl.: ROPOHL, G. [Innovative Technikbewertung], S. 85.

⁵²⁸ Vgl.: BÜLLINGEN, F. [Methodische Ansätze der Innovationsforschung], S. 78ff, zitiert bei PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung und Diffusionsforschung], S. 55.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Dieser rekursive TA-Ansatz, bei welchem eine Einflussnahme (Rückkoppelung) der Technikanwender bzw. -nutzer auf die Technikentwicklung ermöglicht wird, führt zu einem Innovations- und Technologiemanagement.⁵²⁹ Dazu muss sich die Technikfolgenanalyse verstärkt der Identifikation von Diffusions- und Nutzungshemmnissen hinwenden. Voraussetzung hierfür ist jedoch nach PETERMANN eine verstärkte Berücksichtigung von Detailwissen über die Nutzerbedürfnisse.⁵³⁰

Aus der Sicht von Wirtschaftsunternehmen, somit der Technikentwickler bzw. -produzenten, ergeben sich aus einem solchen Vorgehen große Vorteile. Protagonisten einer stark an der Politikberatung orientierten Technikfolgenanalyse kritisieren jedoch, dass die Fokussierung auf technische Lösungsvarianten sowie deren Durchsetzung mit einem Verlust der unabhängigen Bewertung einhergehe, was zu einer Gefährdung der Technikfolgenanalyse als neutrales Politikinformations- und -beratungsinstrument führen würde.⁵³¹

Beide betrachteten TA-Konzepte können, ungeachtet der vorgebrachten Einwände, in der praktischen Anwendung nicht getrennt voneinander umgesetzt werden. Vielmehr ist, wie gezeigt, eine gegenseitige Ergänzung möglich und notwendig.⁵³² Diesen Gedanken sowie die Heranführung der Technikfolgenabschätzung an den Innovationsprozess setzen BERLOZNIK UND LANGENHOVE in der von ihnen beschriebenen *integrated TA* konsequent um. Dieses Konzept stellt eine Weiterentwicklung aus klassischer *early-warning TA* und der *constructive TA* dar, wobei eine Technikbewertung bereits zu Beginn der Technikentwicklung von den Entwicklern selbst durchgeführt werden soll.⁵³³

Aufbauend auf den vorgebrachten Überlegungen lässt sich das in Abbildung 13 dargestellte Verfahrensschema zur Technikwirkungsanalyse entwickeln. Dabei stellt sich die Technikwirkungsanalyse als einen Prozess dar, dessen Ergebnisse

⁵²⁹ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 265.

⁵³⁰ Vgl.: PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung und Diffusionsforschung], S. 58.

⁵³¹ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 276 sowie PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung und Diffusionsforschung], S. 55.

⁵³² VAN BOXSEL weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass sich die konstruktive Technikfolgenabschätzung zu einer Ergänzung der klassischen Technikfolgenabschätzung entwickelt, während diese stets unentbehrlich bleiben wird. Vgl.: VAN BOXSEL, J. [Konstruktive Technikfolgenabschätzung], S. 148.

⁵³³ Vgl.: BERLOZNIK, R.; VAN LANGENHOVE, L. [Integration], S. 25.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

idealerweise einer ständigen Prüfung und Fortschreibung bedürfen.⁵³⁴ Die Vorgehensweise nach den hier zu isolierenden drei Teilprozessen *Auswahl und Abgrenzung*, *Potentialbestimmung* sowie *Abschätzung der Auswirkungen und Folgen* entspricht den in der Literatur dargestellten Phasenmodellen.⁵³⁵ Sie ist an den Erkenntnissen des Innovations- und Technologiemanagements orientiert⁵³⁶ und entspricht auch den vom Verein Deutscher Ingenieure formulierten formellen Anforderungen an die Technikbewertung gemäß der VDI Richtlinie 3780.⁵³⁷

Aufgrund der in dieser Arbeit betrachteten Fragestellungen stehen Aspekte der Potentialabschätzung, hier vor allem die Diffusion, sowie der Folgenbewertung im Vordergrund des Interesses. Gerade die Einbindung der Diffusion in das in dargestellte Ablaufschema stellt eine Erweiterung und Weiterentwicklung des idealtypischen TA-Konzeptes dar. Ihr wird daher im folgenden stärkere Beachtung geschenkt.

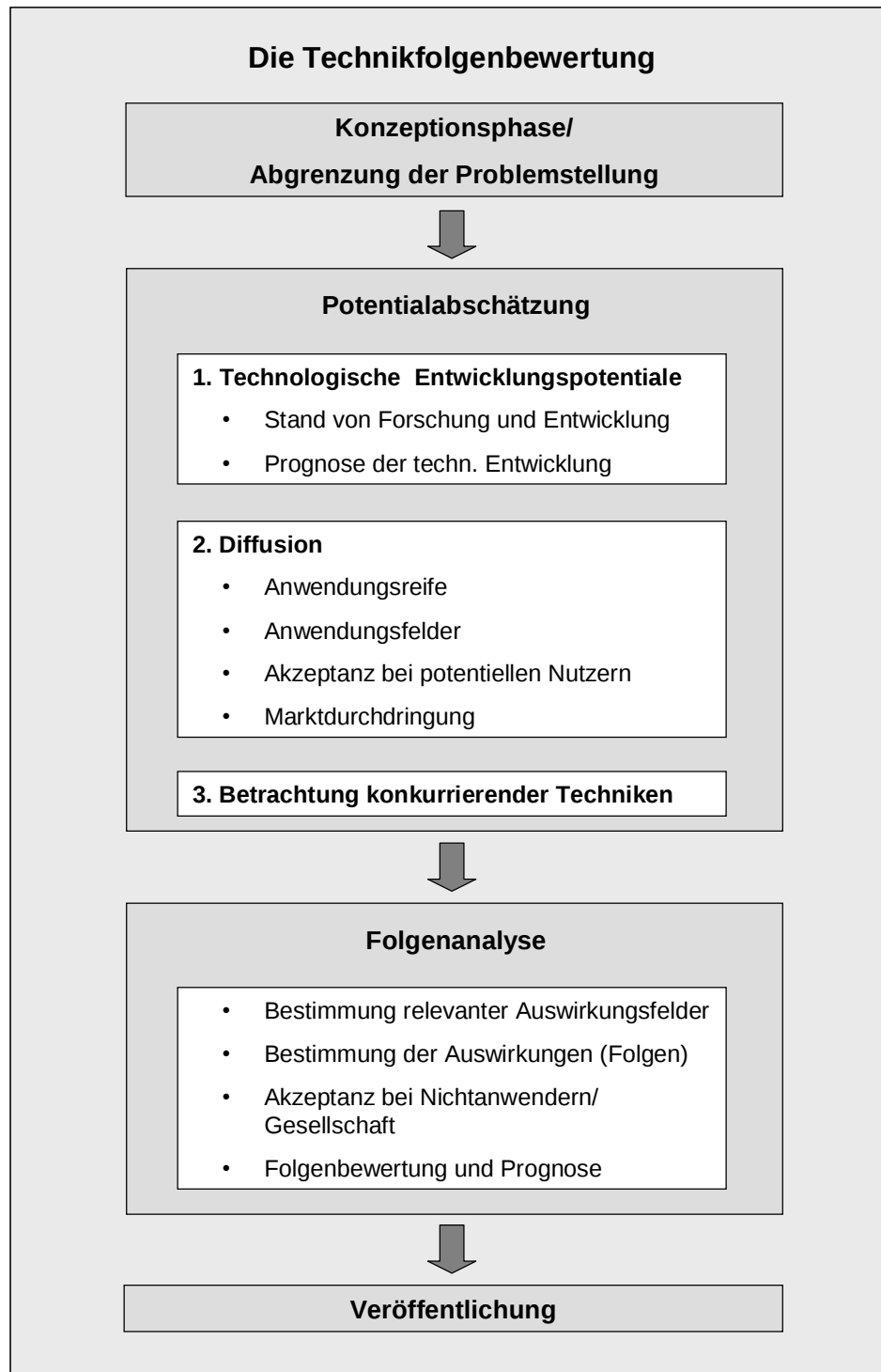
⁵³⁴ Vgl.: KORNWACHS, K. [Technikfolgenabschätzung], S. 6 sowie VAN EIJNDHOVEN, J. [Technology Assessment], S. 269-286.

⁵³⁵ Vgl.: WEBER, J. u.a. [Technology Assessment], S. 22 sowie PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 55f.
Ein in der Literatur viel zitiertes Ablaufschema stellt das so genannte MITRE-Schema der MITRE Corporation dar. Eine gute Aufarbeitung findet sich bei PASCHEN, GRESSER und CONRAD sowie in modifizierter Form bei ROPOHL. Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 55f sowie ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 183ff.

⁵³⁶ Vgl.: HÜBNER, H. [Innovations- und Technologiemanagement], S. 1546-1550.

⁵³⁷ Vgl.: VDI [Richtlinie 3780], S. 2.

Abbildung 13: Ablaufschema für die Durchführung von Technikfolgebewertungen



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung im Bereich der Landwirtschaft], S. 12-18, KORNWACHS, K. [Technikfolgenabschätzung], S. 8, PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 55f, WEBER, J. et al. [Technology Assessment], S. 21f sowie ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 183-185.

3.1.4 Einbeziehung angrenzender Prognoseverfahren

Der für die Vergangenheit zu konstatierende, ständig steigende Prognosebedarf und somit das ständig steigende Informationsbedürfnis von Politik und Wirtschaft nach entscheidungsrelevantem Wissen⁵³⁸ führte zur Entwicklung einer Vielzahl wissenschaftlicher Methoden und Verfahren verschiedener Disziplinen, welche nur schwer voneinander abzugrenzen sind.⁵³⁹ Der Fokus der hier vorgenommenen Betrachtungen liegt auf der Diskussion des Konzeptes der Technikfolgenabschätzung im Hinblick auf die Prognoseverfahren des *Technological* sowie des *Social Forecasting*.

3.1.4.1 Technological Forecasting

Das Konzept des Technological Forecasting⁵⁴⁰ hat zur Aufgabe, den zukünftigen wissenschaftlich-technischen Fortschritt zu prognostizieren. Mit Hilfe dieses Konzeptes soll die Verfügbarkeit und Verwendung einer Innovation zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft abgebildet werden. Somit lässt sich dieser Begriff zum Science-Technology Forecasting erweitern.⁵⁴¹ Im Zuge der Betrachtung neuer spezifischer wissenschaftlicher Erkenntnisse und Innovationen, wie auch deren Adoption, Diffusion und Nutzungsmuster geht dem Technological Forecasting somit ein Innovation-Forecasting voraus.⁵⁴² Dieses ist jedoch mit dem grundlegenden Prognoseproblem behaftet, dass wissenschaftlich-technische Innovationen oft abseits der betrachteten Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, in dem hier betrachteten Modell also konzeptionslos, entstehen und sich somit einer Vorhersage entziehen.⁵⁴³ In der Anwendung des Konzeptes des Innovation Forecasting werden Informationen

⁵³⁸ COATES, J. [Boom time], S. 37-40.

⁵³⁹ VGL.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 21.

⁵⁴⁰ Das Konzept des Technological Forecasting stammt aus militärischen Anforderungserfordernissen. In der wissenschaftlichen Beachtung dieses Ansatzes lassen sich Wellenbewegungen sowohl in Bezug auf Veröffentlichungen zu Anwendungsfragen als auch zu methodischen Problemstellungen feststellen. Technological Forecasting wird zurzeit in vielfacher Form betrieben, wobei hier die Beratungspraxis sowie die Marktforschung herauszustellen ist. Vgl.: PORTER, A. [Forecasting], S. 19-28.

⁵⁴¹ Vgl.: RESCHER, N. [Technological Forecasting], S. 102.

⁵⁴² Vgl.: WATTS, R.; PORTER, A. [Innovation Forecasting], S. 1.

⁵⁴³ Bei CHRISTENSEN findet sich eine anschauliche Einführung in die Probleme der Vorhersage. Vgl.: CHRISTENSEN, R. [Vorhersagetechnik], S. 95-98.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

- zum Stand des technologischen Lebenszyklus,
- zur erwarteten Produktwertschöpfung und zu Marktperspektiven sowie
- zum Umfeld der Innovation

generiert.⁵⁴⁴

Informationen zum Lebenszyklus einer Technologie geben Aufschluss über die Dauer von Forschung und Entwicklung, den Adoptions- und Diffusionsprozess und somit die Wachstumsraten der betrachteten Technologie als auch über die Interdependenzen zu anderen Technologien. Eine Darstellung der anwendbaren Indikatoren des Lebenszyklus einer Technologie zeigt Übersicht 6.

Übersicht 6: Indikatoren des Lebenszyklus einer Technologie

Variable	Indikator
Forschung und Entwicklung	
- Grundlagenforschung	Wissenschaftliche Veröffentlichungen
- Angewandte Forschung	Ingenieurwissenschaftliche Veröffentlichungen
- Entwicklung	Patentanmeldung
- Anwendung	Wahrnehmung in Fachmedien
- Gesellschaftliche Wahrnehmung	Allg. Medienwahrnehmung
Wachstumsrate	Trend der wahrgenommenen Veröffentlichungen
Reifen	Entwicklung der relevanten technologiebezogenen Themen
Auslaufen	Wahrnehmung von Ersatz- und Spin-off - Technologien

Quelle: Eigene Darstellung und Ergänzung nach WATTS, R. J.; PORTER, A. L. [Innovation Forecasting], S. 29.

Mit Hilfe der in Übersicht 7 dargestellten Indikatoren zu Produktwertschöpfung und Marktperspektiven kann das Marktpotential einer neuen Technologie evaluiert wer-

⁵⁴⁴ Vgl.: RESCHER, N. [Technological Forecasting], S. 101.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

den.⁵⁴⁵ Die Unterschiedlichkeit der betrachteten Technologie in wichtigen Parametern zu Alternativtechnologien zeigt deren direkte Anwendungsfolgen auf Verfahrensniveau auf und kann als weiteres Ergebnis mögliche Anwendungsfelder darlegen. Die Wissensverfügbarkeit - sowohl im technologieproduzierenden Unternehmen als bei den potentiellen Anwendern - stellt einen zentralen Aspekt im Prozess der Technologieimplementierung dar. Ohne ein fachspezifisches Wissen können die ökonomischen Vorteile - im Vergleich zu technologischen Alternativen - in der Anwendung letztendlich nicht oder nur unvollständig zum Tragen kommen. Eine erfolgreiche Marktdurchdringung ist somit erschwert.⁵⁴⁶

Übersicht 7: Indikatoren zu Produktwertschöpfung und Marktperspektiven

Variable	Indikator
Abstandsanalyse	Unterschiedlichkeit in wichtigen Parametern zu Alternativtechnologien
Anwendung	Identifizierung möglicher Anwendungsgebiete
Wissens-Verfügbarkeit	Identifizierung von Personengruppen in Produktion und Anwendung aufgrund von Fachwissen
Ökonomische Vorteilhaftigkeit	Sektorale Ausbreitung
	Regionale Ausbreitung

Quelle: Eigene Darstellung und Ergänzung nach WATTS, R.; PORTER, A. [Innovation Forecasting], S. 30.

Innovationen sind in einen technologischen Kontext integriert. So führt die Analyse des Umfelds einer Technologie zur Identifizierung neuer, alternativer Technologien, technischer Komponenten sowie technologischer Komplementärlösungen. Deren breite zukünftige Nutzung wird allerdings durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Ein ausgeprägter Technologieschutz, also die verstärkte Unzugänglichkeit der neuen Technologie, weist auf hohe Forschungs- und Entwicklungskosten und somit auf einen hohen Innovationsgrad hin, kann aber zu einer nutzungslimi-

⁵⁴⁵ Nach ZWECK ist das frühzeitige Erkennen technischer Innovationen ein zunehmend entscheidendes strategisches Moment im internationalen Wettbewerb. Vgl.: ZWECK, A. [Technologiefrüherkennung], S. 159.

⁵⁴⁶ WATTS, R.; PORTER, A. [Innovation Forecasting], S. 32.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

tierenden Wirkung führen. Eine ambivalente Wirkung haben staatliche Eingriffe in das Nutzungsumfeld neuer Technologien. Spezielle Fördermaßnahmen haben eine die Implementierung stimulierende Wirkung. Auch können marktregulierende Eingriffe den Wettbewerb verbessern und somit die Ausbreitung einer Innovation, vorrangig im Falle eines ausgeprägten Technologieschutzes, fördern.⁵⁴⁷ Zum anderen kann auf der Basis neu eingeführter, technikbezogener Rechtsnormen eine staatliche Nutzungslimitierung das Technikumfeld - aufgrund einer starken Risikobetonung - negativ beeinflussen.

Die Beziehungen zwischen Technological Forecasting und Technikfolgenabschätzung stellen sich, unter dem Eindruck des gesagten, eng und vielfältig dar und können in den folgenden Punkten zusammengefasst werden.⁵⁴⁸

- Im Falle einer technik-induzierten Technikfolgenanalyse müssen, um eine möglichst umfassende Bewertung vornehmen zu können, mögliche zukünftige Entwicklungen von alternativen Technologien, technischen Komponenten sowie von Komplementärlösungen berücksichtigt werden.
- Mögliche zukünftige Lösungsalternativen zur Bewältigung definierter Probleme im Rahmen von problem-induzierten Studien sind bereits bekannten technischen Lösungen gegenüberzustellen.
- Im Falle projektiver Abschätzungsverfahren ist das Wissen um die möglichen Entwicklungspfade einer betrachteten Technologie notwendiger Bestandteil der Analyse. Gleiches gilt für die in der Frühphase einer Technologieanwendung durchgeführte reaktive Technologiebetrachtung.
- Eine weitere unabdingbare Informationsgrundlage für Technikfolgenabschätzungen stellen Aussagen über Marktpotential und Ausbreitungsgeschwindigkeit einer neuen Technologie dar. Aufgrund des Wissens um die zukünftige Relevanz der betrachteten Technologie können die Ergebnisse der Bewertung eingeordnet und interpretiert werden.

⁵⁴⁷ Die von Seiten der Nationalökonomie vertretenen Auffassungen zur Technologiepolitik gehen weit auseinander. So wird zum einen eine Förderung von Technologien mit den größten Spillovers gefordert. Zum anderen kann dies aber zu einer Technologiepolitik führen, welche jene Wirtschaftsbereiche mit der höchsten politischen Durchsetzungsfähigkeit fördert. Vgl.: MANKIW, N. G. [Volkswirtschaftslehre], S. 227.

⁵⁴⁸ Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 21f.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Die vorangestellten Überlegungen zeigen, dass Technologievorhersagen zumindest als Voraussetzung zur Durchführung von Technikfolgenabschätzungen anzusehen sind. Bei der Einbeziehung wahrscheinlicher ökonomischer, politischer und sozialer Auswirkungen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen in das Konzept des Technological Forecasting ergibt sich nach PASCHEN, GRESSER UND CONRAD eine fast vollständige Überdeckung von Technikfolgenabschätzung und Technological Forecasting.⁵⁴⁹

3.1.4.2 Social Forecasting

Mit Hilfe des Konzeptes des Social Forecasting sollen gesamtgesellschaftliche Entwicklungen, so auch insbesondere der technische Fortschritt, einer Prognose unterzogen werden.⁵⁵⁰ Dabei kann im Falle partieller Betrachtungen der Fokus auf gesellschaftliche Teilgruppen, so beispielsweise Landwirte, eingeengt werden. Grundlage für die Analyse stellen ökonomische, aber auch soziologische, politologische und psychologische Theorien dar.⁵⁵¹

In der Literatur wird auf einen engen Zusammenhang zwischen der Vorhersage des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und des Social Forecasting hingewiesen.⁵⁵² Neue Technologien auf wissenschaftlich-technischem Gebiet bedingen Veränderungen des ökonomischen und damit einhergehend des politischen Umfelds. Sie induzieren als Neben- oder Folgewirkung gesellschaftliche Veränderungen.⁵⁵³ Für die gesellschaftliche Entwicklung können in Bezug auf den wissenschaftlich-technischen Fortschritt sowohl steuernde als auch induzierende Wirkungen festgestellt werden. Die für das Technological Forecasting nachgewiesene enge Verknüpfung mit der Technikfolgenabschätzung muss auch für das Social Forecasting konstatiert werden. ZWECK begründet dies beispielhaft damit, dass ethische Konsequenzen technischen Handelns oft nicht zeitnah als direkte Folgen sichtbar werden, sondern erst später, jedoch intensiv und nachhaltig auftreten.⁵⁵⁴

⁵⁴⁹ Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 21f.

⁵⁵⁰ Auf die soziologischen Aspekte technischen Wandels wird in der Literatur vielfach hingewiesen. Vgl.: JOKISCH, R. [Techniksoziologie], S. VII.

⁵⁵¹ Vgl.: WEINGART, P. [soziologische Analyse], S. 114.

⁵⁵² Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 22

⁵⁵³ Vgl.: STEGER, U. [Innovation], S. 34-42.

⁵⁵⁴ Vgl.: ZWECK, A. [Vermittlungsinstrument], S. 157f.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Jedoch stellt die Prognose des sozialen Wandels eine, im Vergleich der Vorhersage des wissenschaftlich-technischen Wandels, ungleich schwierigere Aufgabe dar.⁵⁵⁵

Die Bewertung zukünftiger Folgewirkungen von Technologieentscheidungen setzt die Kenntnis um die zukünftige Relevanz von Folgewirkungen von Technologien voraus.⁵⁵⁶ Hierzu müssen aber die Wertmaßstäbe zukünftiger Generationen in die Modellbetrachtung mit einfließen. Geschieht dies nicht, werden zukünftige Entwicklungen unter *gegenwärtigen* Wertmaßstäben evaluiert, was möglicherweise zu einer Über- oder Unterbewertung negativer, aber auch positiver Technikfolgen führen kann. In beiden Fällen würden aus Sicht zukünftiger Generationen - bei kürzeren Betrachtungsperioden kann dies auch für zukünftige Anwender bzw. Nichtanwender einer Technik gelten - falsche Technologieentscheidungen getroffen.⁵⁵⁷ Somit besteht ein zum Teil nicht unerhebliches Risiko bei der Wahl der für die Zukunft relevanten Technik.⁵⁵⁸ Um das Risiko einer technischen oder technologischen Fehlentscheidung zu minimieren, müssen die Beziehungen im komplexen Zielsystem des technischen Handelns präzisiert sein. Die Auswahl (Gewichtung) der Ziele ist auf individuelle bzw. gesellschaftliche Präferenzen zurückzuführen.⁵⁵⁹ Ein Präferenzwandel unter den Zielen ruft somit nicht nur gesellschaftliche Unwägbarkeiten hervor, sondern stellt auch ein einzelbetriebliches Investitionsrisiko dar.⁵⁶⁰

Vor allem bei der Bearbeitung umfassender Ansätze projektbezogener Technikfolgenabschätzungen ist das Social Forecasting als Bestandteil der Analyse anzusehen. Voraussetzung, um die gesellschaftlichen Auswirkungen von Technologiean-

⁵⁵⁵ Zur Zielidentifikation einzelner Akteure vgl.: STEFFEN, G.; BORN, D. [Betriebs- und Unternehmensführung], S. 226.

⁵⁵⁶ Ohne die Bewertung sozialer Veränderungen würde sich die Technikfolgenbewertung an der Vielfalt existierender Wertvorstellungen orientieren. Vgl.: ZWECK, A. [Vermittlungsinstrument], S. 166.

⁵⁵⁷ Angesichts dieses Problems wurde das Konzept der „Nachhaltigen Entwicklung“ entworfen. Vgl.: The World Commission on Environment and Development [Our common future] sowie HASLINGER, F. [nachhaltige Entwicklung], S. 3-16.

⁵⁵⁸ Vgl.: Krücken, G.; Weyer, J. [Risikoforschung], S. 230 sowie NEHNEVAJSA, J.; MENKES, J. [Risk Analysis], S. 245-255.

⁵⁵⁹ Vgl.: ROPOHL, G.; LENK, H.; RAPP, F. [Wertgrundlagen], S. 54.

⁵⁶⁰ So kann zum Beispiel der Wandel der Präferenz hin zu einer höheren Bewertung von Freizeit während der Abschreibungsperiode für eine nicht arbeitssparende Alternativtechnik zu einer investiven Fehlentscheidung des Landwirts führen.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

wendungen prognostizieren zu können, ist jedoch das Vorhandensein geeigneter Sozialindikatoren.⁵⁶¹

3.2 Methoden der Analyse und Bewertung

3.2.1 Allgemeine Darstellung der Methoden in Technikfolgenabschätzungen

In den seither, national wie international, durchgeführten TA-Studien finden eine Vielzahl methodischer Ansätze, analytischer Methoden und Bewertungsverfahren Anwendung.⁵⁶² Ausgangspunkt für eine Betrachtung der Methodennutzung ist eine Inventarisierung des für Technikfolgeanalysen genutzten Methodenbestandes.⁵⁶³ Die in oben dargestellten Methoden der Technikfolgenabschätzung stammen aus den Disziplinen der Natur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sowie den Technik- und Ingenieurwissenschaften. Auch werden Vorgehensweisen und Praktiken von Planungs- und Projektarbeiten in Wirtschaft und Verwaltung zur Bearbeitung der jeweils aufgeworfenen Fragestellungen genutzt.⁵⁶⁴

Ein methodisches Standardinstrumentarium kann für den Bereich der Technikfolgenanalyse somit nicht beschrieben werden.⁵⁶⁵ Meist finden Listen mit Beschreibungen und Charakterisierungen Eingang in die einschlägige Literatur.⁵⁶⁶ Auch sind einzelne Methoden in alleiniger Anwendung nicht geeignet, den vielfältigen Dimensionen komplexer Technikfolgen und somit dem Problem der Zukunftsprognose Rechnung zu tragen. So kommen, abhängig vom jeweiligen Untersuchungsgegenstand und der beabsichtigten, analytischen Vollständigkeit, Kombinationen von aufeinander abgestimmten methodischen Vorgehensweisen zum Einsatz.⁵⁶⁷ Zunehmend finden induktive sowie deduktive Trendanalysen, nicht-lineare und systemanalytische Vorgehensweisen, Verfahren der Wahrscheinlichkeitstheorie

⁵⁶¹ Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 23.

⁵⁶² Dies ist darauf zurückzuführen, dass Technikfolgenbewertungen oftmals komplexe, interdisziplinäre Analysen darstellen. Vgl.: LEE, A.; BEREANO, P. [Methodology], S. 17.

⁵⁶³ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 190 sowie o.V. [Methode].

⁵⁶⁴ Vgl.: PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 11.

⁵⁶⁵ Für PASCHEN, GRESSER UND CONRAD gilt es als unwahrscheinlich, dass sich methodisches Standardinstrumentarium herausbilden kann. Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S.1978, S. 69. Ein methodologisches Rahmenkonzept hingegen ist für LEE und BEREANO möglich und notwendig. Vgl.: LEE, A.; BEREANO, P. [Methodology], S. 17.

⁵⁶⁶ Vgl.: STEINMÜLLER, K. [METHODEN], S. 655.

⁵⁶⁷ Dies kommt besonders in den interdisziplinär angelegten TA-Projekten mit einem umfassenden

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

bzw. Risikoforschung sowie spieltheoretische Ansätze Verwendung.⁵⁶⁸ Die Vielzahl der in Projekten zur Technikfolgenabschätzung zur Anwendung gelangender Methoden sind vor allem aus den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften für die politische und unternehmerische Planung bekannt und nicht für Fragestellungen der Technikfolgenabschätzung entwickelt worden.⁵⁶⁹

Die Technikfolgenabschätzung ist generell auf methodische Werkzeuge angewiesen, die den Umgang mit unsicherem Wissen (Ungewissheit bzw. Unsicherheit) erleichtern. Dabei sind nach RENN drei methodische Aspekte von Bedeutung:⁵⁷⁰

- Ausdruck von Ungewissheit als Unsicherheit

Die zu Potentialabschätzungen herangezogenen Wahrscheinlichkeiten zukünftiger Entwicklungen können mit Hilfe von statistischen Erwartungswerten oder erfahrungsbedingten Schätzwerten (Bayes Statistik)⁵⁷¹ bestimmt werden.

- Verbindung von deduktiven und induktiven Vorgehensweisen

Vor allem bei der Betrachtung von Diffusionsverläufen ist die parallele Nutzung von deduktiven (top-down-Ansätze) und induktiven (bottom-up-Ansätze) Vorgehensweisen unumgänglich, um Diffusionsraten, die auf hochaggregiertem Betrachtungsniveau klare Regelmäßigkeiten (etwa logistische Funktionsverläufe) aufweisen, auch bei einer Verschiebung des Präferenzverhaltens der Akteure abbilden zu können.

- Systemtheoretische Prognostik

Um die Schwäche von Prognoseverfahren, welche in der Annahme von stationären Gleichgewichtsmodellen besteht, zu beheben, tritt die Beobachtung selbsterklärender Prozesse, die Analyse von dynamischen, interaktiv wirkenden Effekten sowie die Bestimmung und Identifizierung von systemeigenen Kreisläufen und Selbstbestimmungspotentialen in den Vordergrund der

Analysecharakter zum Ausdruck.

⁵⁶⁸ Vgl.: RENN, O. [Methodische Vorgehensweisen], S. 609.

⁵⁶⁹ Vgl.: PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 69.

⁵⁷⁰ Vgl.: RENN, O. [Methodische Vorgehensweisen], S. 610-613.

⁵⁷¹ BAYESISCHE Schätzungen stellen auf dem BAYES Theorem begründete, numerische Parameterschätzungen dar. Vgl.: KENNEDY, P. [Econometrics], S. 205-209.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

genutzten Methoden.

Übersicht 8: Übersicht über ausgewählte Methoden der Technologiefolgenabschätzung

Subjektive Bewertungsmethoden	Explorative Methoden	Normative Methoden
a) Befragung von Meinungsführern	a) Szenario-Techniken	a) Simulationsmodelle
b) Formalisierte Befragungsdesigns/ Marktforschungsgestützte Bewertungen	b) Delphi-Analysen	b) Netzwerktechnologien
c) Bewertung von Wahrscheinlichkeiten durch Einzelpersonen	c) Cross-Impact Matrizen	c) Relevanzbaum-Verfahren
d) Einstellungstests	d) Kurvenanpassungen	d) Dynamische Systeme
e) Kosten-Nutzen-Analyse	e) Trend basierte Verfahren	e) Phänomenologische Modelle
f) Nutzwertanalyse (Scoring)	f) Analogie basierte Verfahren	f) Programmierungsmodelle
	g) Morphologische Verfahren	
	h) Multivariate Verfahren	
	i) Katastrophentheorie	
	j) Spieltheorie	
	k) Wachstumsmodelle	
	l) Input-Output Modelle	
	m) Substitutionsanalyse	
	n) Monitoring	
	o) Analyse hierarchischer Prozesse	
	p) Brainstorming (Synektik)	
	q) Normal Group Technique	

Quelle: MISHRA, S.; DESHMUKH, S.; VRAT, P. [Technological Forecasting], S. 4 sowie eigene Ergänzungen.

Die hier unter dem Begriff „Methode“ aufgeführten Methoden, Verfahren und Techniken sind diesem Begriff nach deutscher Diktion nicht alle zuzuordnen. Die Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Auch sind andere Systematisierungen in der Literatur beschrieben. Vgl.: STEINMÜLLER, K. [Methoden], S. 659f.

Die wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Methoden und Verfahren der Technikfolgenabschätzung lassen sich im Wesentlichen drei verschiedenen Modellklassen zuordnen,⁵⁷² wobei eine eindeutige Zuordnung der Methoden nicht immer möglich ist (Übersicht 8).⁵⁷³ So umfassen die *subjektiven Bewertungsmethoden* u. a. die Befragung von Meinungsführern, formalisierte Befragungsdesigns und marktforschungsgestützte Bewertungen, die Kosten-Nutzen- sowie die Nutzwertanalyse (Scoring). Als Beispiele für *explorative Methoden* sind u. a. Trend und Analogie basierte Verfahren, multivariate Verfahren, Szenario-Techniken, spieltheoretische Modelle und die Input-Output-Analyse zu nennen. Zu den *normativen Methoden* zählen u. a. Simulationsmodelle, dynamische Systeme und Programmierungsmodelle.

Im Hinblick auf die hier vorliegende Fragestellung werden im Weiteren speziell die ökonomisch orientierten Methoden und Modelle der Technikfolgenabschätzung bezüglich ihrer Vor- und Nachteile zur Analyse von Technikwirkungen diskutiert. Dabei ist jedoch, im Vergleich zu den wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Methoden und Verfahren, nach einer anderen Klassifizierung vorzugehen.

3.2.2 Betrachtung ausgewählter ökonomisch orientierter Methoden in Technikfolgenabschätzungen

3.2.2.1 Ökonometrische Modelle

Diese Modellklasse umfasst sowohl die mathematische Statistik als auch die empirische Analyse ökonomischer Phänomene. Zur Analyse finden Modelle aus der ökonomischen Theorie, wirtschafts- und sozialstatistische Daten sowie statistische Methoden Verwendung.⁵⁷⁴ Den Schwerpunkt bilden hier die empirischen Analysen. Die zur Anwendung gelangenden Modelle⁵⁷⁵ werden bei diesen Ansätzen zum ei-

⁵⁷² Vgl.: MISHRA, S.; DESHMUKH, S.; VRAT, P. [Technological Forecasting], S. 4.

⁵⁷³ Für STEINMÜLLER „(...) fällt das Fazit der Systematisierungsversuche eher ernüchternd aus“, sodass eine „konsistente Klassifikation noch (...) unbedingt notwendig (...)“ ist. Vgl.: STEINMÜLLER, K. [Methoden], S. 662.
Auch sind andere Einteilungen begründbar. Vgl. exemplarisch: VDI [Richtlinie 3780], HUISINGA, R. [Technikfolge-Bewertung] sowie LUDWIG, B. [Methoden], zitiert bei STEINMÜLLER, K. [Methoden], S. 660.

⁵⁷⁴ Vgl.: KENNEDY, P. [Econometrics], S. 1-2.

⁵⁷⁵ Zur Übersicht ökonometrischer Prognosemodelle vergleiche: MARKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. [Forecasting].

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

nen zur Überprüfung von Hypothesen der ökonomischen Theorie und zum anderen zur Vorbereitung wirtschafts- und sozialpolitischer Entscheidungen genutzt. Ziel ist es somit, die theoretischen Überlegungen anhand von Beobachtungsdaten empirisch zu überprüfen. Durch die stark angestiegenen Datenverarbeitungskapazitäten ist es in der Anwendung ökonometrischer Modelle nun möglich, eine breite empirische Datenbasis zu nutzen. Aufgrund der angestrebten logischen Analyse der formulierten ökonomischen Hypothesen besitzen ökonometrische Modelle in aller Regel einen deterministischen Charakter und unterstellen daher einen gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung.⁵⁷⁶ Bei der Modellbildung stellen die numerische Benennung der betrachteten Parameter und die Konkretisierung dieser ins Modell aufgenommenen Zufallsvariablen notwendige Voraussetzungen der Modellbildung dar. Dabei wird unterstellt, dass unterschiedliche Strukturen auch unterschiedliche Verteilungen der Modellvariablen implizieren. Gerade hierin liegt das methodische Problem empirischer Vorgehensweisen.⁵⁷⁷

Die Unterschiede in der jeweils verwendeten Datenbasis begründen dabei die Wahl der jeweiligen ökonometrischen Modelle. So können für die Modellvariablen sowohl Zeitreihen- als auch Querschnittsdaten genutzt werden. Charakteristische Unterschiede zwischen den Modellen zeigen sich in der Zahl der verwendeten Gleichungen, in der im Modell unterstellten Linearität der Schätzung sowie in der zeitlichen Dimension - der Dynamisierung im Falle von Zeitreihenanalysen - des Ansatzes. Auch lassen sich Ansätze zur Analyse gesamtwirtschaftlicher Entwicklungen oder von Märkten (Makromodelle) unter der Verwendung von Querschnittsdaten (Mikromodelle) voneinander unterscheiden.⁵⁷⁸

Die Eignung ökonometrischer Modelle zur Bewertung ökonomischer Hypothesen ist nicht unumstritten.⁵⁷⁹ Bezüglich der Verwendung ökonometrischer Modelle als Entscheidungsmodelle kann eingewandt werden, dass es nicht möglich ist, die Auswirkungen des Einsatzes wirtschaftspolitischer Instrumentvariablen zu analy-

⁵⁷⁶ Vgl.: LESERER, M. [Methodik], S. 142.

⁵⁷⁷ Als Übersichtswerk zur Ökonometrie vgl.: SCHIPS, B. [Ökonometrie].

⁵⁷⁸ Entgegen der klassischen Aufteilung der Wirtschaftstheorie in die Mikro- und Makroökonomik wird in Mikro-Makro-Modellen der Versuch unternommen, die verschiedenen Ebenen in einem Ansatz darzustellen. Vgl. VOßKAMP, R. [Innovationen], S. 211-215.

⁵⁷⁹ Zur Frage der Prognoseleistung ökonometrischer Modelle gibt KENNEDY einen guten Überblick. Vgl.: KENNEDY, P. [Econometrics], S. 288-297.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

sieren, wenn die betroffenen Wirtschaftssubjekte nicht die entsprechenden Erfahrungen gemacht haben. Den wirtschaftlichen Akteuren wird ein auf die neue Situation angepasstes Verhalten, somit also Lernfähigkeit, unterstellt.⁵⁸⁰ Das aufgrund der Beobachtungsdaten spezifizierte und geschätzte Modell kann damit diese veränderte Konstellation nicht erfassen (Lucas-Kritik).⁵⁸¹ Eine verzerrte Schätzung der Parameter ist so u. a. bei Zeitreihenanalysen zu beobachten, wenn beispielsweise nur Einkommens- und Preiseinflüsse berücksichtigt werden. Diese Kritik trifft aber nur dann zu, wenn die angenommenen Werte für die Instrumentvariablen außerhalb des Wertebereichs der bisherigen Beobachtungen liegen und das Modell nicht ausreichend spezifiziert ist.⁵⁸²

Sind die Entscheidungskalküle der Wirtschaftssubjekte ausreichend bestimmt, kann mit ökonometrischen Modellen die zukünftige Struktur der betrachteten Variablen auf der Basis vergangenheitsbezogener Daten ausreichend prognostiziert werden.⁵⁸³ So gründen Modellansätze, basierend auf Markoffschen Prozessen, auf der Annahme, dass sich die Zustände einer Variablen nicht nach deterministischen Gesetzmäßigkeiten von einer Periode auf die nächste verändern, sondern einer Wahrscheinlichkeitsverteilung unterliegen.⁵⁸⁴ Hierbei handelt es sich somit um einen stochastischen Prozess, bei dem die Wahrscheinlichkeit des Übergangs von einem Zeitpunkt t in den nächstfolgenden Zustand t_{+1} vom Zustand in t_{-1} unabhängig ist.⁵⁸⁵ Mittels dieses Modellansatzes lässt sich, wie etwa BEUSMANN⁵⁸⁶ gezeigt hat, unter der Kenntnis variabler Übergangswahrscheinlichkeiten ein Erklärungsmodell für den landwirtschaftlichen Betriebsgrößenstrukturwandel erstellen. Aufgrund der Kritik, dass mittels des Markoff-Prozesses zukünftige Strukturen nur aus

⁵⁸⁰ Vgl.: FISCHER, A. J.; ARNOLD, A. J.; GIBBS, M. [Information], S. 1073 und PHILLIPS, C. B.; PLOBERGER, W. [Bayesian Inference], S. 381-411.

⁵⁸¹ Vgl.: KENNEDY, P. [Econometrics], S. 293.

⁵⁸² Vgl.: HENZE, A. [Marktforschung], S. 222-223.

⁵⁸³ Solche determinierten Prozesse erfordern die Analyse komplexer Daten. Vgl.: MÜLLER, G. [Betriebsstruktur], S. 223ff.

⁵⁸⁴ Diese Übergangswahrscheinlichkeiten sind bei naturwissenschaftlichen Fragestellungen, hier in erster Linie in der Biologie, bekannt bzw. aus den empirischen Daten direkt ableitbar, was für verschiedene Autoren die Analogiebildung zur Biologie begründete. Hierbei sind auch Lernprozesse, die zu Veränderungen der Übergangswahrscheinlichkeiten führen können, mit zu berücksichtigen.

⁵⁸⁵ Dies gilt für Markoff-Ketten 1. Ordnung. Bei Markoff-Ketten höherer Ordnung ($1 \rightarrow n$) ist die Verteilung von $t_{-1}, \dots, n$ abhängig.

⁵⁸⁶ Vgl.: BEUSMANN, V. [Betriebsgrößenstrukturwandel].

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

dem gegenwärtigen Status heraus prognostiziert werden können, entwickelte THORBURN eine Übergangs-Matrix zur Prognose der schwedischen Agrarstruktur. Die in diesem Modellansatz getroffenen Annahmen zur zeitlichen Homogenität (Produkt- und Faktorpreisverhältnis), zur Unabhängigkeit sowie zur Klassenaufteilung der Betriebe, dienen der Verbesserung der Prognosegüte für einen Projektionszeitraum von drei Jahren. Für eine Langfristprognose über einen Zeitraum von über zehn Jahren ist auch dieses Modell nach dessen Autor nicht geeignet, da in diesem Fall exogene Variable deutlich dominierend sind.⁵⁸⁷ Als weiterer Autor kann ZEPEDA angeführt werden, der den Wandel der Betriebsgrößenstruktur für milchviehhaltende Betriebe in Wisconsin unter dem Einfluss technischen Wandels modellhaft darstellte. Voraussetzung für seine Abschätzung ist es jedoch, dass die Veränderungsraten aufgrund der Wirkung technischer Fortschritte mit Hilfe historischer Daten geschätzt werden können, somit also bekannt sind.⁵⁸⁸ Über die Wirkungsweise zukünftiger technischer Fortschritte, die einen Strukturbruch hervorrufen können, kann auch mit diesem Ansatz keine zuverlässige Schätzung erstellt werden. So wird die Prognose umso unsicherer, je weniger die zu betrachtenden Prozesse mit der Zeit korrelieren.⁵⁸⁹ Dies umso mehr, je komplexer das betrachtete System ist und je höher, aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit von empirischen Daten, das jeweilige Aggregationsniveau des Modells ist.

Dem Einwand, dass ökonometrische Modelle aufgrund vielfacher Annahmen zu einfach konzipiert sind,⁵⁹⁰ kann unter anderem mit dem Hinweis auf Querschnittsanalysen entgegengetreten werden. Im Gegensatz zu Zeitreihendaten weist die Datengrundlage in Querschnittsanalysen eine höhere Variation auf, welche die Berücksichtigung einer Vielzahl von Einflussfaktoren begünstigt. Eine Erhöhung des Signifikanzniveaus des Schätzparameters ist dabei die Folge. Anspruchsvolle Analysen werden mithin in ihrer Durchführung so erst ermöglicht. Diese Modellan-

⁵⁸⁷ Vgl.: THORBURN, D. [Forecasting], S. 418-428.

GROSSKOPF fordert insbesondere für längerfristige Prognosemodelle die Endogenisierung bisheriger exogener Variablen weist aber auf die Schwierigkeit der Prognose der exogenen Größen hin. Vgl.: GROSSKOPF, W. [Prognose], S. 136f.

⁵⁸⁸ Vgl.: ZEPEDA, L. [Technical change], S. 41-60.

⁵⁸⁹ Zur Erstellung von Wirkungsanalysen politischer Maßnahmen sind diese Modellanwendungen jedoch nicht geeignet, da mit ihnen keine Strukturbrüche erklärt werden können. Vgl.: BORTZ, J.; DÖRING, N. [Forschungsmethoden], S. 578.

⁵⁹⁰ Vgl.: BERGER, T. [Simulationsmodelle], S. 31.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

wendung bietet dann große Vorteile, wenn im Zuge einer umfangreichen Erhebung möglichst viele Einordnungsmerkmale erfasst werden können.⁵⁹¹ Eine Einschränkung in ihrer Aussagefähigkeit erfährt diese Modellklasse darin, dass Verhaltensaussagen nur für die bereits evaluierte Periode getroffen werden können. Für die Prognose des zukünftigen Verhaltens werden die bereits bekannten Verhaltensmuster herangezogen, was im Falle von Strukturbrüchen zu einer Einschränkung der Aussagekraft des Modells führen kann.⁵⁹² Nach HENZE liefern repräsentative Querschnitterhebungen, die zudem fortlaufend durchgeführt werden, die wertvollste Datengrundlage. Jedoch ist aufgrund des überaus hohen Erfassungsaufwandes dieser Ansatz in nur sehr wenigen Fällen durchführbar.⁵⁹³

Die Kritik, dass sich die Ergebnisse ökonometrischer Modelle, dies trifft sowohl für Zeitreihenanalysen wie auch für Ansätze auf der Basis von Querschnittsdaten zu, nicht auf verschiedene Länder bzw. Regionen beliebig übertragen lassen,⁵⁹⁴ ist insoweit nachvollziehbar, da das Verhalten verschiedener sozioökonomischer Gruppen in die Betrachtung einfließt.

3.2.2.2 Optimierungsmodelle

Als ein weiterer Modellansatz sind die Optimierungsmodelle, die sowohl auf analytischer als auch auf numerischer Grundlagen vorliegen können, anzusprechen.⁵⁹⁵ Bei dieser Modellklasse wird versucht, den Entscheidungsprozess der wirtschaftlichen Akteure direkt nachzuvollziehen. Das allgemeine Ziel dieser Suchverfahren ist es, mit Hilfe einer in aller Regel linearen Zielfunktion die Variablen einer Funktion unter der Beachtung von Nebenbedingungen in Form linearer Gleichungen und Ungleichungen so zu wählen, dass der skalare Wert maximiert wird.⁵⁹⁶ Vorausset-

⁵⁹¹ Im Falle der Erfassung landwirtschaftlicher Betriebe können das der Betriebsstandort, die Rechtsform, die Faktorausstattung und Einkommenszusammensetzung sowie soziodemographische Merkmale der betrieblichen Entscheidungsträger sein.

⁵⁹² Vgl.: BRANDES, W. [Schreibtisch-Ökonomie], S. 118-120.

⁵⁹³ Vgl.: HENZE, A. [Marktforschung], S. 224.

⁵⁹⁴ Vgl.: BERGER, T. [Simulationsmodelle], S. 31.

⁵⁹⁵ Vgl.: REESE, J.; URBAN, K.-P. [Produktionsplanung], S. 318.

⁵⁹⁶ Vgl.: BERG, E.; KUHLMANN, F. [Systemanalyse], S. 281.

Die Zielfunktion drückt den Zusammenhang zwischen Entscheidungsvariablen und Zielkriterien eines Optimierungsproblems aus. $x_0 = f_0(x_1, x_2, \dots, x_n)$, die bei einem Optimierungsproblem jedem Vektor $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ von Zahlen $x_1, x_2, \dots, x_n$, vor allem auch jeder Lösung des betrachteten Restriktionssystems einen Zielwert x_0 zuordnet.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

zung für die Analyse ist es somit, dass zum einen konkrete Normen definiert sind, an denen die Entscheidungsträger – so beispielsweise Unternehmer - ihr Handeln ausrichten.⁵⁹⁷ Zum anderen muss hier das Entscheidungsproblem strukturiert sein, was die Vollständigkeit und die exakte Definition der Suchfunktion zur Folge hat.⁵⁹⁸ Hierzu finden sowohl einperiodisch-lineare Programmierungen als auch dynamisierte Modellansätze Verwendung. Bei letzteren eignen sich besonders rekursive lineare oder nicht lineare Programmierungen, um Zeitverläufe mit einer guten Prognosegüte realitätsnah darzustellen.⁵⁹⁹ Bei dieser Modellkonstruktion wird den Akteuren ein adaptives Verhalten über die betrachtete Zeit, somit Lernfähigkeit, unterstellt.⁶⁰⁰

Die verwendeten Mikrodaten können in unterschiedlicher, teils aggregierter Form vorliegen. Bei der Betrachtung des Verhaltens mehrerer Akteure - hier landwirtschaftliche Unternehmer – kann erst auf einzelbetrieblichem Niveau ein Verhalten simuliert werden, um dann in einem zweiten Schritt die Ergebnisse zu einem Aggregat zusammenzufassen. Dieser Analyseweg ermöglicht es, individuelles, also einzelbetriebliches Verhalten, beispielsweise Innovationsentscheidungen, abzubilden. Ein zweiter Modellansatz nutzt die Daten von bereits zu Aggregaten zusammengefassten einzelbetrieblichen Daten (Gruppenhöfe). Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass Interdependenzen (z.B. Transfer von Zwischenprodukten) unter den Betriebsgruppen Berücksichtigung finden. Als nachteilig erweist sich hier das „nur schwer lösbare Aggregationsproblem“.⁶⁰¹ Diese Modellanwendung birgt generell verschiedene Fehler- und Manipulationsquellen, die zur Kritik an den Optimierungs- bzw. Programmierungsansätzen geführt haben.

- Das *Aggregationsproblem* stellt in der Modellanwendung, wie oben erwähnt, eine nur schwer lösbare Aufgabe dar. Durch eine geeignete Gruppenbildung kann dieser Fehler minimiert werden, ohne ihn aber ganz auflösen zu können.

⁵⁹⁷ Nach der klassischen Unternehmenstheorie werden alle betrieblichen Aktivitäten zu einem Zweck geleitet: der unbedingten Maximierung des kurzfristigen Gewinns bzw. der Minimierung des kurzfristigen Verlusts, unabhängig von der Marktform und von der Zahl der am Unternehmungsgeschehen beteiligten Personen.

⁵⁹⁸ Vgl.: DINKELBACH, W. [Heuristische Verfahren], S. 1778ff.

⁵⁹⁹ Vgl.: DE HAEN, H. [Systems models], S. 367-389.

⁶⁰⁰ Vgl.: BERGER, T. [Simulationsmodelle], S. 34.

⁶⁰¹ Vgl.: BRANDES, W. [Schreibtisch-Ökonomie], S. 83.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Bei einer weitgehenden Aggregation einer mit steigender Zahl von Unternehmungen wachsenden Inhomogenität der Variablen, bedingt die Modellanwendung einen steigenden Informationsverlust und somit eine größere Realitätsferne.⁶⁰²

- Aufgrund der *Erfassungsprobleme* der wirtschaftlichen Realität kann die zu analysierende Wirklichkeit nicht authentisch abgebildet werden. Die modellimmanente Notwendigkeit von Restriktionen führt zur deterministischen Abbildung stochastischer Größen sowie zur Annahme linearer Beziehungen real nichtlinearer Reaktionen. Auch können die eingesetzten Faktorkapazitäten aus Ermangelung empirischer Daten nur geschätzt werden.⁶⁰³
- Die falsche Einschätzung der *Zielfunktion* und somit der Entscheidungsfunktion der zu analysierenden Akteure stellt eine weitere Einschränkung in der Prognosegüte dieses Modellansatzes dar. Aufgrund der unvollständigen Informationen muss im Modell die Zielfunktion geschätzt werden. Die Entscheidungslogik ist durch die Axiomatisierung des Systems gekennzeichnet, wobei mathematische und logische Entscheidungskalküle (Rationalverhalten) unterstellt werden.⁶⁰⁴ Die Präferenzen der Akteure zu den hier zu differenzierenden Parametern Sicherheit und Risiko sind jedoch nicht bekannt und bedürfen einer Schätzung. Auch wenn die klassische Konzeption des homo oeconomicus hin zu einem beschränkt rationalen Verhalten verlassen wird, müssen Erkenntnisse (Wahrscheinlichkeiten) über die Konsequenzen der Entscheidungen unter Unsicherheit vorliegen.⁶⁰⁵ Auch sind die Informationen über die Präferenzstruktur und damit die Nutzenfunktion - in Abhängigkeit der Zeit - der Entscheidungsträger nicht bekannt und müssen im Modell unterstellt werden. In welchem Umfang nutzenmaximierendes und satisfizierendes Verhalten angenommen werden kann, ist nicht bekannt und bedarf ebenfalls der Annahme.

Das modellierte Suchverhalten von Einzelnen oder von Aggregaten birgt somit eine Fülle von Problemen, die eine realitätsgetreue Abbildung erschweren. Eine

⁶⁰² Vgl.: WEINSCHENCK, G.; HENRICHSMEYER, W. [Ermittlung des räumlichen Gleichgewichts], S. 201-242.

⁶⁰³ Vgl.: BRANDES, W. [Schreibtisch-Ökonomie], S. 83-84.

⁶⁰⁴ Vgl.: HEINEN, E. [Entscheidungstheorie], S. 1133ff.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

festgestellte Übereinstimmung von Modell und Realität kann auf gegensätzlich wirkende Fehlerquellen zurückzuführen sein.⁶⁰⁶ Jedoch stellt die Lösung von Optimierungsfragen gerade auf einzelbetrieblichem Niveau unter der Nutzung ausreichend spezifizierter Daten sicherlich einen adäquaten Modellansatz zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Produktionstechnologie sowie betriebsinterner Austauschbeziehungen dar.

3.2.2.3 Evolutorische Modellansätze

In aktuellen Beiträgen werden zur Abschätzung struktureller Veränderungen, vor allem unter dem Eindruck von Innovationen, häufig Modellansätze der evolutorischen Wirtschaftstheorie gewählt. Wo bei traditionellen Ansätzen, wie in Kapitel 2 dargelegt, der technische Fortschritt als exogene Variable auf das Modell einwirkt, wird er bei den Suchfunktionen evolutorischer Ansätze modellendogen erzeugt. In diesem Modellansatz wird den betrieblichen Entscheidungsträgern daher eine große Selbstständigkeit zugestanden. Der mikrofundierte Modellansatz soll eine konsistente Abbildung der realen Entscheidungssituationen der Akteure erzeugen. Zur Prognose werden jedoch nicht einzelne repräsentative Unternehmen oder Aggregate von Unternehmen betrachtet. Vielmehr wird unter der Anwendung eines Simulationsmodells⁶⁰⁷ eine Vielzahl von einzelnen Akteuren – mit zuvor definierten, unterschiedlichen Faktorausstattungen und Zielfunktionen – den sich im Zeitverlauf ändernden Umweltbedingungen ausgesetzt.⁶⁰⁸

Die einzelnen Akteure lassen sich unter der Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz modellieren und werden als Agenten (Multi-Agentsysteme) oder als sog. zelluläre Automaten dargestellt.⁶⁰⁹ Unter einem Agenten ist dabei ein Subsystem (z.B. ein landwirtschaftliches Unternehmen) zu verstehen, das auf Umwelt-

⁶⁰⁵ Vgl.: MOSCHINI, G.; HENNESSY, D. [Uncertainty], S. 119ff.

⁶⁰⁶ Vgl.: BRANDES, W. [Schreibtisch-Ökonomie], S. 88-89.

⁶⁰⁷ Nach einem für die Agrarökonomie frühen und grundlegenden Beitrag GROSSKOPFS wird „(...) unter dem Begriff ‚Simulation‘ die Verwendung experimenteller Techniken zur Bestimmung einer Optimallösung des einem mathematischen Modell zugrunde liegenden Problems und die Untersuchung alternativer Konstellationen von Modellparametern in ihrer Auswirkung auf das Modellverhalten zusammengefasst“. GROSSKOPF, W. [„Simulation“], S. 1-7.

⁶⁰⁸ Vgl.: KROMPHARDT, J.; SCHEIDT, B. [Wachstumstheorie], S. 4262-4277.

⁶⁰⁹ Im Folgenden wird nur auf agentenbasierte Systeme eingegangen. Die Besonderheiten der Modellierungsmethoden mit zellulären Automaten werden aufgrund der bestehenden Parallelen nicht betrachtet. Vgl.: SCHUSTER, H. [Das digitale Universum].

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

einflüsse autonom reagiert.⁶¹⁰ Eingriffe des Experimentators finden in den Simulationsgängen somit nicht statt. Agentenbasierte Simulationssysteme entsprechen insofern Computerprogrammen mit einer Vielzahl von Subroutinen, den Agenten. Um reale Entscheidungssituationen simulieren zu können, müssen die Agenten mit einer Reihe von Eigenschaften ausgestattet sein, die jenen realer Entscheidungsträger entsprechen. Neben dem Vermögen, auf Umwelteinflüsse autonom und flexibel zu reagieren, verhalten sie sich zielorientiert, wobei Erfahrungen aus früheren Perioden in die Entscheidungsfindung einfließen (Pfadabhängigkeiten).⁶¹¹ Aufgrund der Kommunikation unter den Agenten können sich Interaktionen und Systemveränderungen ergeben.⁶¹² In der realen Anwendung müssen dabei aber nicht alle Eigenschaften in gleicher Weise erfüllt werden. Durch das Zusammenwirken der einzelnen Agenten ergeben sich Multi-Agent Systeme. Abhängig von der Ausgestaltung der Agenten ergeben sich sowohl regelbasierte als auch normative Systeme oder aber Systeme mit künstlicher Intelligenz. Eine wichtige Eigenschaft agentenbasierter Systeme ist die Modellierung des Gesamtaggregats von unten heraus (bottom-up-Ansatz).

Den Entscheidungsträgern in agentenbasierten Simulationsmodellen wird unvollkommene Information sowie ein nur begrenztes Rationalverhalten unterstellt.⁶¹³ Die Zahl der dargestellten Unternehmen kann sich im Zeitverlauf ändern. So können während der Simulation neue Akteure den Markt betreten. Auch ist es möglich, dass Unternehmen ihre Existenz im Betrachtungszeitraum aufgeben, wodurch ein struktureller Anpassungsprozess simuliert werden kann. Diese Entscheidungen basieren auf der Wahrnehmung der Opportunitätskosten der von den Akteuren zur Produktion eingesetzten Faktoren. Eine grundsätzliche Annahme ist, dass das Modell aus mehreren Unternehmen besteht, die dasselbe homogene Gut herstellen. Hierzu wird von ihnen Arbeit und Sachkapital (Ausstattung mit Produktionsfaktoren) aufgewandt. In jeder dargestellten Periode lässt sich ein Unternehmen durch

⁶¹⁰ Vgl.: BALMANN, A.; HAPPE, K. [Agentenbasierte Politik- und Sektoranalyse], S. 506.

⁶¹¹ Zu Pfadabhängigkeiten in der Agrarstrukturentwicklung vgl.: BALMANN, A. [Pfadabhängigkeiten].

⁶¹² Autonome Agenten können in robotic agents, biologische Agenten und rechnerische Agenten systematisiert werden. Die rechnerischen Agenten umfassen wiederum Software-Agenten und Artificial Life Agents. Zu den Eigenschaften von Agenten vgl.: FRANKLIN, S.; GASSER, A. [Agent], S. 21-35 sowie PETRIE, C. J. [Agent-based Engineering], S. 24-29.

⁶¹³ Vgl.: BALMANN, A. [Genetische Algorithmen], S. 18.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

die verwendete Produktionstechnik, welche sich wiederum mit Hilfe der beiden Inputkoeffizienten für Arbeit und Sachkapital beschreiben lässt, sowie durch die betriebliche Faktorausstattung charakterisieren. Annahmegemäß produzieren die Unternehmen grundsätzlich mit voll ausgelasteten Kapazitäten. Auf der Basis der Aggregation der entsprechenden Variablen lässt sich für jeden Zeitpunkt der Simulation das jeweilige Periodenergebnis für den In- und Output der Produktion sowie die Struktur der existenten Unternehmen darstellen. Der Lohn wird mit Hilfe einer gegebenen Arbeitsangebotskurve für jede Periode neu berechnet.⁶¹⁴

Die Suchfunktion beschränkt sich hier auf Produktionsmöglichkeiten, deren Faktorkoeffizienten sich nur sehr wenig voneinander unterscheiden. NELSON und WINTER sprechen in diesem Zusammenhang von local search.⁶¹⁵ Dass nicht alle Akteure im gleichen Maße auf der Suche nach besseren Produktionsmöglichkeiten und somit von Innovationen sind, kann in den Modellanwendungen berücksichtigt werden. NOELL und HANF weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass Nutzen und Risiken einer Innovation für den Übernehmer nicht automatisch von vornherein bewertbar sind. Vielmehr kann unterstellt werden, dass sich die individuellen Nutzensvorstellungen erst in einem von Unternehmen zu Unternehmen zeitlich unterschiedlichen Informations-, Lern- und Suchprozess entwickeln und verdichten. Aufgrund der unterstellten Lernfähigkeit der Entscheidungsträger können auch Technologieentscheidungen in späteren Perioden wieder revidiert werden.⁶¹⁶ Zu jedem Zeitpunkt existiert eine Vielfalt an Konstellationen von Inputs und Outputs bei den Unternehmen, so dass die Ergebnisse nicht paretooptimal sein können, da es stets Unternehmen gibt, die noch nicht die besten Produktionstechniken einsetzen. Folglich wird zu keinem Zeitpunkt ein Gleichgewicht im paretianischen Sinne realisiert. Der Analyse wird das Prinzip der Selbstorganisation der wirtschaftlich Handelnden zugrunde gelegt.⁶¹⁷ Wie gezeigt, ergeben sich die jeweiligen Periodenergebnisse aus den zum jeweiligen Zeitpunkt gültigen exogenen Variablen. Dies bedeutet, dass das Modell die Geschwindigkeit der Veränderungen aus sich heraus determiniert.

⁶¹⁴ Vgl.: KROMPHARDT, J.; SCHEIDT, B. [Wachstumstheorie], S. 4262-4277.

⁶¹⁵ Vgl.: NELSON, R. R.; WINTER, S. [Evolutionary theory], S. 211.

⁶¹⁶ Vgl.: NOELL, C.; HANF, C.-H. [Simulationsmodell], S. 227.

⁶¹⁷ Vgl.: KNOTTENBAUER, K. [Strukturwandel], S. 178.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Die vollständige Dynamisierung dieses analytischen Konzepts stellt somit einen weiteren Unterschied zu bereits diskutierten Prognosemodellen, so etwa Zeitreihenanalysen dar. Als ein wichtiges Element dieses Konzepts ist daher die Lernfähigkeit der Entscheidungsträger im Zeitverlauf anzusehen. Im Simulationslauf bewegen sich aufgrund dieser Annahme die Unternehmen schrittweise an eine für sie befriedigende Lösung heran. Nach BERGER und BRANDES steht eine derartige Verhaltensannahme im Einklang mit den empirisch beobachtbaren Planungs- und Entscheidungsaktivitäten landwirtschaftlicher Unternehmer.⁶¹⁸ Der gegenwärtige Stand der Modelle erlaubt es noch nicht, hohe Ansprüche an die exakte Simulation des realen wirtschaftlichen Verhaltens zu erfüllen.⁶¹⁹ Für den Bereich der Landwirtschaft wurden die Ansätze jedoch in den letzten Jahren beispielsweise von BALMMANN erheblich weiterentwickelt.

Vor allem die Betrachtung des strukturellen Anpassungsprozesses in der Landwirtschaft unter dem Einfluss von technischem Wandel und sich ändernden Umweltbedingungen (Politikänderungen, Marktveränderungen) stellt ein interessantes Anwendungsgebiet für agentenbasierte Modelle dar.⁶²⁰ Aufgrund der Flexibilität ist es in diesem Modellansatz möglich, die Heterogenität der betrachteten Entscheidungsträger deutlich besser darzustellen als das in bisherigen Optimierungsmodellen möglich ist.

Die Formulierung der Zielfunktion, etwa die Maximierung des Haushaltseinkommens aller betrachteten landwirtschaftlichen Unternehmen, stellt eine qualitative Einschränkung des analytischen Konzeptes dar. Ungeachtet der Modellannahme, dass alle Agenten autonom handeln, wird für alle ein identisches Handlungsmuster unterstellt. So kann es durchaus in Frage gestellt werden, dass alle landwirtschaftlichen Betriebe dem strikten Ziel der Einkommensmaximierung folgen. Hingegen kann vielmehr angenommen werden, dass sich die Unternehmer bei ihrer Investitionsentscheidung nicht von der Gewinnmaximierungsregel leiten lassen, sondern die Realisierung eines zufriedenstellenden Nutzenniveaus anstreben.⁶²¹

⁶¹⁸ Vgl.: BERGER, T.; BRANDES, W. [Evolutionäre Ansätze], S. 276.

⁶¹⁹ Vgl. hierzu weiterführend: BERGER, T. [Simulationsmodelle].

⁶²⁰ Vgl.: BALMANN, A.; HAPPE, K. [Agentenbasierte Politik- und Sektoranalyse], S. 509-510.

⁶²¹ Vgl.: KROMPHARDT, J.; SCHEIDT, B. [Wachstumstheorie].

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Auch unterliegt die Analysequalität von in evolutorischen Modellen zum Teil genutzten linearen Programmierungsmodellen zur Abbildung individueller Entscheidungsprozesse in ihren Ergebnissen gewissen Einschränkungen. In dem von BALMANN und HAPPE vorgestellten Modell verhindert die fehlende direkte Kommunikation der Betriebe untereinander die Nutzung von Kooperationsvorteilen sowie eine strategische Verhaltensweise der Entscheider.⁶²² Eine Interaktion findet nur über die Faktor- und Produktmärkte statt. Problembehaftet kann auch die Kalibrierung des Modellsystems sein, da zur Simulation lediglich typische Betriebe betrachtet werden. In der praktischen Anwendung muss somit die detaillierte realitätsnahe Abbildung der landwirtschaftlichen Betriebe verbessert werden, was zurzeit noch das größte Problem dieses modelltheoretischen Konzeptes ist. Grundlage hierfür ist die hohe Verfügbarkeit empirischer Daten in hoher Qualität. Standardisierte Daten reichen aufgrund der Heterogenität der Unternehmen nicht aus. BALMANN und HAPPE sehen hier noch einen erheblichen empirischen Analysebedarf.⁶²³ Auch NELSON und WINTER weisen darauf hin, dass die Ergebnisse stochastischer Prozesse nicht zwangsläufig repräsentativ sein müssen, da in diesen Modellen Annahmen über die Verteilung verschiedener Variablen getroffen werden müssen. Diese jedoch müssen mit der Realität nicht zwingend übereinstimmen.⁶²⁴

3.3 Diskussion des Konzeptes der Technikfolgenabschätzung

In der Durchführung von Technikfolgenabschätzungen zeigt sich, dass aus methodischen, zeitlichen, personellen und finanziellen Gründen oftmals von der „Idealkonzeption“ abgewichen werden muss.⁶²⁵ Auch scheint die Kritik, welche die Technikfolgenabschätzung in ihrer konkreten Ausgestaltung dem Bereich symbolischer Politik zuordnet und ihr theoretische und methodologische Unschärfe unterstellt, nicht gänzlich unbegründet, zumindest jedoch, was die Fragestellung nach Methodik und Vorgehensweise betrifft, diskussionsbedürftig.⁶²⁶

Die Technikfolgenabschätzung ist prinzipiell im Spannungsfeld (Dilemma) zwi-

⁶²² Vgl.: BALMANN, A.; HAPPE, K. [Agentenbasierte Politik- und Sektoranalyse], S. 511.

⁶²³ Vgl.: BALMANN, A.; HAPPE, K. [Agentenbasierte Politik- und Sektoranalyse], S. 512.

⁶²⁴ Vgl.: NELSON, R. R.; WINTER, S. [Evolutionary theory], S. 409-412.

⁶²⁵ Vgl.: MORAWITZ, C. [Einsatz von rbST], S. 60.

⁶²⁶ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 210.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

schen den sozialen Gruppen einer Gesellschaft - in der praktischen Ausgestaltung, somit der Politik - und der Wissenschaft angesiedelt, weshalb sich die Politikberatung auf der Basis der Technikfolgenabschätzung als problematisch erwiesen hat.⁶²⁷ Die Schwierigkeiten sind mit den grundlegenden Problemen der wissenschaftlichen Politikberatung verbunden, sollen aber hier nicht vertiefend dargestellt und erörtert werden.⁶²⁸ Die Technikfolgenabschätzung sieht sich in ihrer Praxis einer Einschränkung der inhaltlichen Aussagefähigkeit sowie der befristeten Reichweite ihrer Ergebnisse gegenübergestellt, was letzten Endes auf die methodischen Probleme der Prognostik zurückzuführen ist.⁶²⁹

Die inhaltliche Aussagefähigkeit der Technikfolgenforschung wird im Wesentlichen durch

1. die bestehenden erheblichen Wissensdefizite auch im Falle monokausaler Wirkungszusammenhänge⁶³⁰,
2. die Auswahl der Bewertungskriterien,⁶³¹
3. die praktischen Probleme der Bewertung vor allem im Hinblick auf die Zeit- und Kostenbegrenzung (trade-off zwischen Wettbewerbsvorteilen am Markt sowie einer ausreichend fundierten Technikbewertung),⁶³²
4. die Selbst-Determination der gefundenen Ergebnisse aufgrund des sozialen Umfeldes (Gesellschaft), in welcher Technikfolgenabschätzung stattfindet,⁶³³ sowie durch
5. die Methodenwahl

bestimmt.

Bezüglich der Methodenwahl ist aufgrund der pragmatischen Vorgehensweisen in

⁶²⁷ Vgl.: VAN EIJNDHOVEN, J. [Technology Assessment], S. 282-283 sowie ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 222.

⁶²⁸ Vgl. hierzu weiterführend: PETERMANN, T. [Technikfolgenabschätzung als Politikberatung], S. 147-164 sowie MAI, M. [Politik], S. 343-350.

⁶²⁹ Vgl.: KORNWACHS, K. [Technikfolgenabschätzung], S. 16.

⁶³⁰ Vgl.: SCHADE, D. [Technikfolgenabschätzung], S. 103.

⁶³¹ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 222.

⁶³² Vgl.: SKORUPINSKI, B.; OTT, K. [Technikfolgenabschätzung und Ethik], S. 33 sowie PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment], S. 19.

⁶³³ Vgl.: KOPPEL, B. [Evaluating Assessment], S. 147-152.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

TA-Studien eine Divergenz zwischen praktischer Anwendung und „Methodenlehre“ festzustellen. Kritik, welche der Technikwirkungsanalyse generelle methodische Defizite unterstellt,⁶³⁴ lässt sich aus dem oben bereits angesprochenen Paradigmenwechsel heraus relativieren. Da bei neueren TA-Studien, so etwa bei innovationsorientierten bzw. konstruktiven Technikfolgenanalysen, eine tendenzielle Abkehr von formalen Verfahren zu beobachten ist, kann eine Beurteilung, welche auf dem wissenschaftlichen Leitbild der Systemanalyse sowie der quantitativen Verfahren basiert, als nicht in allen Punkten problemadäquat angesehen werden. So kann im Falle von quantitativen Modellen die Prognose aufgrund von notwendigen Vereinfachungen im Modell nicht vollständig sein. Qualitative Technikfolgenabschätzungen sind in ihren Aussagen unpräzise, wobei entweder eine Scheinpräzision vermittelt wird oder eine Vielzahl von Interpretationsmöglichkeiten offen gelassen wird.⁶³⁵ Als methodisches Problem lässt sich zweifelsohne die Forderung nach einer antizipativen Technikbewertung anführen. Hier ist die Nutzung eines relevanten Zeitfensters von entscheidender Bedeutung für die Qualität der Aussage. Jedoch besteht das Problem, dass, je früher eine Technikwirkungsanalyse in dem Prozess der Technikgenese einsetzt, die gewonnenen Ergebnisse umso unpräziser und diffuser sind.⁶³⁶

Die befristete Reichweite von TA-Aussagen ist sowohl im Prognosezeitpunkt als auch in der Tatsache begründet, dass jedes Prognoseverfahren⁶³⁷ nur für einen bestimmten Zeitraum eine gewisse Wahrscheinlichkeitsaussage erzeugen kann.⁶³⁸ So gilt für technikinduzierte TA-Ansätze ein Betrachtungszeitraum von 5 bis 15 Jahren, wobei für die Analyse von Einzeltechnologien kürzere Prognosezeiträume anzusetzen sind als für die Untersuchung von technischen Entwicklungslinien.⁶³⁹ Probleminduzierte Analysen können für einen Betrachtungszeitraum von 10 bis 40

⁶³⁴ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 210.

⁶³⁵ Vgl.: STEINMÜLLER, K. [Methoden], S. 664f sowie KORNWACHS, K. [Technikfolgenabschätzung], S. 16.

⁶³⁶ Vgl.: ZWECK, A. [Vermittlungsinstrument], S. 148-149.

⁶³⁷ Hierunter wird in diesem Zusammenhang auch die Szenario-Technik verstanden.

⁶³⁸ Vgl.: KORNWACHS, K. [Technikfolgenabschätzung], S. 16.

⁶³⁹ KORNWACHS schränkt den methodisch abgesicherten Prognosezeitraum von Technikwirkungsanalysen auf einen Zeithorizont von vier bis fünf Jahren ein. Vgl.: KORNWACHS, K. [Technikfolgenabschätzung], S. 17.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Jahren erstellt werden.⁶⁴⁰

Die klare Definition von Werten, nach denen geurteilt werden soll, stellt in der Technikfolgenabschätzung ein nicht unerhebliches Problem dar. So ist es notwendig, ein System der Werte-Relationen zu schaffen, in welchem die Bewertungskriterien formuliert und in ihren Beziehungen definiert werden.⁶⁴¹ In einem so umrissenen mehrdimensionalen Bewertungsproblem können zwischen den einzelnen Werten, in ihrer Erfüllung auch als Ziele definiert, Beziehungen konstatiert werden, die in gegenseitiger Komplementarität, Unabhängigkeit oder Harmonie zum Ausdruck kommen.⁶⁴² Die auf der Theorie der Wertsysteme basierende Technikbewertung berücksichtigt, da sie dem Anspruch auf Vollständigkeit genügen muss, alle Werte menschlicher Lebensqualität. Dazu ist es jedoch notwendig, dass die Konkretisierung der Werte konsensuell, also auf partizipativem Wege erfolgen muss, somit also aufgrund einer fundierten Reflexion definiert wird.⁶⁴³

Die vorangestellten Anmerkungen führen hin zur kritischen Betrachtung des Idealkonzeptes von PASCHEN UND PETERMANN. So kann die Erfassung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts nie vollständig und umfassend sein, was zum Teil zu gravierenden Fehlprognosen führen kann.⁶⁴⁴ Auch die Überprüfung der Ergebnisse der geforderten Szenarienbewertung ist auf der Grundlage qualitativer Daten in aller Regel nicht möglich.⁶⁴⁵ Vor dem Hintergrund des Gesagten und der Betrachtung der praktischen Technikfolgenabschätzung kann somit festgehalten werden, dass es sich hier um postulierte Mindestanforderungen einer idealtypischen Vorgehensweise handelt, welche in der Realität so nicht einzuhalten sind.⁶⁴⁶

Der Umstand, dass Technikfolgenabschätzungen unvollständig, zuweilen auch willkürlich - etwa in der Auswahl der zu betrachtenden Folgenbereiche - sind, stellt nach SCHADE keinen prinzipiellen Mangel dieses Konzeptes dar.⁶⁴⁷ So kann die in der Abweichung vom Vollständigkeitsprinzip begründete Betrachtung von Partial-

⁶⁴⁰ Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 20.

⁶⁴¹ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 222f.

⁶⁴² Zu Zielbeziehungen vgl.: STREIT, M. [Wirtschaftspolitik], S. 240ff.

⁶⁴³ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 226.

⁶⁴⁴ Vgl.: RESCHER, N. [Technological Forecasting], S. 102.

⁶⁴⁵ Vgl.: BULLINGER, H.-J. [Technikpotentialabschätzung], S. 109.

⁶⁴⁶ Vgl.: PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 10.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

wirklichkeiten neue Einblicke und Lösungen hervorbringen.⁶⁴⁷ Schlussendlich bleibt festzuhalten, dass keine Folgenforschung die Zukunft vorhersehen kann, sondern lediglich durch das Aufzeigen von Potentialen die Möglichkeit für eine bewusste Zukunftsgestaltung bereitet.

3.4 Die Technikakzeptanzforschung

Im Kontext der Technikfolgenabschätzung bestehen sehr unterschiedliche Auffassungen über die Bedeutung des Begriffs der „Akzeptanz“.⁶⁴⁸ Offensichtlich scheint die Nähe der Akzeptanz zum Terminus der Einstellung zu sein. Demzufolge kann nach JAUFMANN unter der Technikakzeptanz eine „(...) nicht negativ gerichtete Bereitschaft oder Prädisposition im Hinblick auf das Reagieren und / oder Bewerten eines Objekts oder Technikbereiches (...)“ verstanden werden.⁶⁴⁹ Unbestritten ist in der Literatur die Diffusität des Akzeptanzbegriffes, die in der ungenauen Benennung des Objektes, auf das er bezogen sein sollte, zum Ausdruck kommt.⁶⁵⁰ Die Existenz einer allgemeingültigen Definition des Phänomens der Technikakzeptanz ist somit sehr unwahrscheinlich.⁶⁵¹ Grundsätzlich kommt in der Frage nach der Akzeptanz einer Technik der oben bereits angesprochene Paradigmenwechsel zum Ausdruck, der zeigt, dass die Ursache der Technikkritik in erster Linie in der Ambivalenz der Technikfolgen und nicht in einer Fehleinstellung der Gesellschaft bzw. der Adressaten der Technik liegt, die lediglich ihr Akzeptanzverhalten korrigieren müssen.⁶⁵²

Zur Messung der Technikakzeptanz bieten sich repräsentative Umfragen an, da jeder Anwender bzw. Nichtanwender bezüglich einer Technik individuelle Ambivalenzen bezüglich Ebene, Bereich, Anwendungsfeld und konkretem Technik-Gegenstand aufweist.⁶⁵³ Dabei besteht jedoch die Notwendigkeit eines differenzier-ten, nicht verallgemeinernden Forschungsansatzes. So müssen disaggregierte

⁶⁴⁷ Vgl.: SCHADE, D. [Technikfolgenabschätzung], S. 103.

⁶⁴⁸ Vgl.: KORNWACHS, K. [Technikfolgenabschätzung], S. 16.

⁶⁴⁹ Vgl.: PETERMANN, T.; THIENEN, V. v. [Technikakzeptanz], S. 224.

⁶⁵⁰ Vgl.: JAUFMANN, D. [Technikakzeptanzforschung], S. 207f.

⁶⁵¹ Vgl.: PETERMANN, T.; THIENEN, V. v. [Technikakzeptanz], S. 215f.

⁶⁵² Vgl.: JAUFMANN, D. [Technikakzeptanzforschung], S. 208.

⁶⁵³ Vgl.: ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung], S. 29.

⁶⁵⁴ Vgl.: JAUFMANN, D. [Technikakzeptanzforschung], S. 208.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Wirkungsprofile - im Gegensatz zu hochaggregierten Einstellungsmustern (positiv $\Leftrightarrow$ negativ) - betrachtet werden.⁶⁵⁵ Hier besteht jedoch die Schwierigkeit, aussagekräftige Indikatoren zur Messung der Akzeptanz herauszuarbeiten. Auch bei der analytischen Betrachtung der faktischen Risiko- und Nutzenmerkmale sind der empirischen Akzeptanzforschung enge Grenzen gesetzt. Dieser Kritik versucht die Implementierung begleitende Technik-Akzeptanzforschung zu entgehen, da hier die „(...) Akzeptanz als Maß der faktisch erfolgten Durchsetzung und Anwendung einer Technik auf dem Markt bzw. im Nutzungsbereich (...)“ verstanden wird.⁶⁵⁶ Ausgehend von der Kauf- und Nutzungsbereitschaft einer Technik durch den Anwender konzentriert sich die Akzeptanzforschung sowohl auf die technischen Akzeptanzbarrieren als auch auf die Motive und Ursachen persönlicher und sozialer Innovationswiderstände. Damit wird die erfolgte Nutzung mit der tatsächlichen Akzeptanz einer Technik gleichgesetzt, wodurch das Akzeptanzproblem auf Nutzenkalküle zurückzuführen ist.⁶⁵⁷ Dieser Sichtweise kann jedoch eine fehlende theoretische Fundierung bei der Beschreibung von Technikakzeptanz vorgehalten werden. Protagonisten dieser Kritik versuchen folglich, Akzeptanzgesichtspunkte in einen Zusammenhang mit Erscheinungen des Wertewandels und den allgemeinen Entwicklungslinien des sozialen Wandels zu bringen. Im Gegensatz zu den empirischen Ansätzen steht bei der normativen Akzeptanzforschung die Akzeptanzwürdigkeit (Akzeptabilität oder Zustimmungswürdigkeit) im wissenschaftlichen Fokus.⁶⁵⁸ Probleme treten bei dieser Betrachtungsweise dann auf, wenn ein verändertes Akzeptanzverhalten auf nicht-rationale oder irrtümliche Entscheidungsmuster zurückzuführen ist. An offensichtliche Grenzen ihrer Erklärungskraft stoßen normative Ansätze vor allem dann, wenn empirische Prozesse der Informationsgewinnung und -verarbeitung außer Acht gelassen werden.⁶⁵⁹

Entsprechend diesen Erkenntnissen können folglich typische Ausprägungen der Akzeptanzforschung voneinander unterschieden werden:

⁶⁵⁵ Vgl.: PETERMANN, T.; THIENEN, V. V. [Technikakzeptanz], S. 219.

⁶⁵⁶ Vgl.: PETERMANN, T.; THIENEN, V. V. [Technikakzeptanz], S. 227.

⁶⁵⁷ Vgl.: SCHÖNECKER, H. [Bedienungsakzeptanz], S. 82ff, zitiert bei PETERMANN, T.; THIENEN, V. V. [Technikakzeptanz], S. 228.

⁶⁵⁸ Vgl.: JAUFMANN, D. [Technikakzeptanzforschung], S. 219 sowie MEYER-ABICH, K. [Akzeptabilität], S. 310.

⁶⁵⁹ Vgl.: PETERMANN, T.; THIENEN, V. V. [Technikakzeptanz], S. 245.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

- a) einstellungsorientierte Akzeptanzforschung,
- b) begleitende Akzeptanzbetrachtungen in der Markt- und Diffusionsforschung,
- c) theoriegeleitete Akzeptanzforschung und
- d) normative Akzeptanzforschung.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass zur Analyse der Willensbildung und Entscheidungsfindung bezüglich der Akzeptanz neuer Techniken deren „Sozialgestalt“ für die Hypothesenbildung empirisch-analytischer als auch normativer Ansätze der Akzeptanzforschung Berücksichtigung finden muss.⁶⁶⁰

3.5 Technikfolgenabschätzungen in der Landwirtschaft

Produktionstechniken und Problemfelder aus dem Bereich der Landwirtschaft bildeten in der Vergangenheit einen Schwerpunkt von Technikfolgenabschätzungen.⁶⁶¹ Die durchgeführten Technikfolgenabschätzungen beziehen sich sowohl auf außerlandwirtschaftliche Fragestellungen als auch auf innersektorale Problemkonstellationen.⁶⁶² Dabei gibt die breite gesellschaftliche Relevanz von Aspekten der landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf eine nachhaltige Wirtschaftsweise wie auch auf Gesichtspunkte zur Sicherheit und Qualität von Lebensmitteln entscheidende Impulse für die Aktivitäten der Technikbewertung.⁶⁶³ Von gesellschaftlicher Seite wird somit eine eindeutige Ausrichtung der Technikfolgenabschätzung in der Landwirtschaft hinsichtlich des Bewertungskriteriums „Verbesserung der Lebensqualität“ gefordert. In diesem Zusammenhang sind den Bereichen

- Humanverträglichkeit (Auswirkungen auf Anwender und Nichtanwender einer Technologie bzgl. Gesundheit und Sicherheit),
- Sozialverträglichkeit (Auswirkungen auf das soziale Gefüge, die Wirtschaftsordnung, inter- und intrasektorale Effekte) sowie
- Umweltverträglichkeit (Auswirkungen auf den Umwelt-, Natur und Tier-

⁶⁶⁰ Vgl.: PETERMANN, T.; THIENEN, V. V. [Technikakzeptanz], S. 247.

⁶⁶¹ Eine Übersicht zu Projekten der Technikfolgenabschätzung gibt MEYER. Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung im Bereich der Landwirtschaft], S. 489-519.

⁶⁶² Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 34.

⁶⁶³ So erfolgt die Technikbeurteilung meist auf der Basis potentieller negativer Auswirkungen einer Technologie. Vgl.: KÄPPELI, O. [Nachhaltige Landwirtschaft], S. 90.

schutz)

im Rahmen einer Technikbewertung besondere Aufmerksamkeit zu widmen.⁶⁶⁴ Weiterhin werden neben der Risikodiskussion auch mögliche ökonomische und agrarstrukturelle Auswirkungen bewertet.⁶⁶⁵

Die Studien zur Technikfolgenabschätzung in der Landwirtschaft umfassen das gesamte Spektrum möglicher TA-Ansätze. Die vorzufindenden Studien können nach MEYER entsprechend dem Schwerpunkt ihrer Fragestellung in Betrachtungen zu landwirtschaftlichen Entwicklungspfaden (Entwicklungsalternativen), zu technischen Entwicklungslinien in der Landwirtschaft und zu Arbeiten, welche landwirtschaftliche Einzeltechnologien betreffen, unterteilt werden.⁶⁶⁶

Landwirtschaftliche Entwicklungspfade (Entwicklungsalternativen)

Die grundsätzlichen Fragestellungen sind jene nach den unterschiedlichen Systemen der zukünftigen landwirtschaftlichen Produktion sowie die diese beeinflussenden Rahmenbedingungen. Die in jenen Studien erarbeiteten Systemalternativen entsprechen dabei unterschiedlichen gesellschaftlichen Leitbildern und können in sektorübergreifende Entwicklungsstrategien einbezogen oder weiterentwickelt werden.⁶⁶⁷ So stellt etwa das Prinzip der nachhaltigen Entwicklung eine Systemalternative mit sektorübergreifendem und globalem Anspruch dar.⁶⁶⁸ Dabei zeigt sich, dass die Entwicklung von Leitbildern zu einer langfristigen Entwicklung höchste Ansprüche an eine umfassende interdisziplinäre wissenschaftliche Analyse stellt.

Technische Entwicklungslinien

Spezieller in ihrer Fragestellung als die Analyse von Entwicklungsalternativen sind Arbeiten zu technischen Entwicklungslinien in der Landwirtschaft. Hier stehen Technikfelder der landwirtschaftlichen Produktion im Zentrum der Betrachtung. Dabei überwiegt bei den bisherigen Analysen die Zahl der Technikbewertungen im

⁶⁶⁴ Vgl.: LÜCKEMEYER, M.; PETERS, W. [Bewertung technischer Fortschritte], S. 326.

⁶⁶⁵ Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung], S. 34.

⁶⁶⁶ Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung im Bereich der Landwirtschaft], S. 494.

⁶⁶⁷ Vgl.: ENQUETE-KOMMISSION „GESTALTUNG DER TECHNISCHEN ENTWICKLUNG; TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG UND BEWERTUNG“ [Bericht].

⁶⁶⁸ Vgl.: THE WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT [Our common future].

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Bereich der pflanzlichen gegenüber jenen der tierischen Produktion.⁶⁶⁹ Fragen bezüglich des Managements der Betriebe sowie nach der Vermarktung landwirtschaftlicher Produkte stellen in aller Regel nur Randaspekte der Bewertung dar.⁶⁷⁰

Die Betonung auf Technikbewertungen im Bereich der Pflanzenproduktion ist auf die hohe Bedeutung der Landbewirtschaftung bezüglich der zukünftigen Einkommenssicherung der landwirtschaftlichen Betriebe im Nicht-Nahrungsmittel-Sektor, der Umwelteinflüsse der landwirtschaftlichen Produktion sowie auf die verstärkte Wahrnehmung der Bio- und Gentechnologie zurückzuführen. Als Beispiel umfassender Technikbewertungen zur Gen- und Biotechnologie sind hier die Arbeiten von V. SCHELL und MOHR sowie von V. D. DAELE ET. AL. anzuführen.⁶⁷¹ In technikinduzierten Bewertungsansätzen, so in der Arbeit der ENQUETE-KOMMISSION zum Schutz der Erdatmosphäre, überwiegen insgesamt probleminduzierte Vorgehensweisen.⁶⁷²

Landwirtschaftliche Einzeltechnologien

Technikfolgenabschätzungen landwirtschaftlicher Einzeltechnologien sind als typische technikinduzierte Analysen zu charakterisieren. Sie wurden - wenn man das Postulat der Vollständigkeit der Analyse zugrunde legt - seither in nur wenigen Fällen durchgeführt.⁶⁷³ Als bedeutende, gleichsam frühe Beispiele für die Beurteilung einer Einzeltechnologie lassen sich Untersuchungen zum Einsatz des bovinen Somatotropin (bST) anführen.⁶⁷⁴ So wurden Arbeiten von ZEDDIES und DOLUSCHITZ (1988)⁶⁷⁵, der ENQUETE KOMMISSION „Gestaltung der Technischen Entwicklung, Technikfolgen-Abschätzung und -Bewertung“ (1989)⁶⁷⁶ sowie von der

⁶⁶⁹ Vgl. beispielhaft: DOLUSCHITZ, R. [Technischer Wandel] sowie DEUTSCHER BUNDESTAG [Klonen von Tieren].

⁶⁷⁰ Vgl.: MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung im Bereich der Landwirtschaft], S. 494.

⁶⁷¹ Vgl.: SCHELL, T. V., MOHR, H. [Biotechnologie - Gentechnik] sowie VAN DEN DAELE, W. U.A. [Grüne Gentechnik].

⁶⁷² Vgl.: ENQUETE-KOMMISSION SCHUTZ DER ERDATMOSPHERE [Klimaschutz].

⁶⁷³ Vgl.: AKADEMIE FÜR TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG IN BADEN-WÜRTTEMBERG [Dokumentation 2000], Einführung.

⁶⁷⁴ Neben Arbeiten zu Einsatz und Wirkung von Produktionsfaktoren liegen auch Bewertungen zu Veränderungen auf der Produktseite vor. So analysierten GROSSKOPF U.A. die Stärkeproduktion auf der Basis der Markerbse. Vgl.: FIB [Markerbsenstärke].

⁶⁷⁵ Vgl.: ZEDDIES, J.; DOLUSCHITZ, R. [Potentielle Auswirkungen von bST].

⁶⁷⁶ Vgl.: ENQUETE KOMMISSION „Gestaltung der Technischen Entwicklung, Technikfolgen- Abschätzung und -Bewertung“ [Rinderwachstumshormon].

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (1989)⁶⁷⁷ vorgelegt, in denen unterschiedliche Ansprüche an die Vollständigkeit der Analyse gestellt wurden. Im Vergleich zur Studie der ENQUETE KOMMISSION war die Untersuchung der BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT enger gefasst und konnte trotz einer breit angelegten interdisziplinären Konzeption Fragen zu Risiken bei Produktion und Anwendung, der missbräuchlichen Anwendung, zu Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit sowie zur Akzeptanz unter den Nutzern nicht oder nur unzureichend behandeln.⁶⁷⁸ Der Ansatz von ZEDDIES und DOLUSCHITZ beschränkt sich auf die Erforschung möglicher Auswirkungen des bST-Einsatzes auf einzelbetrieblicher und sektoraler Ebene. Dieser, in der ersten Betrachtung weite Ansatz wurde in einem monodisziplinären Forschungsgang mit Hilfe der Szenariotechnik und Optimierungsmodellen erstellt und liefert für die eng umschriebene Zielsetzung gute Ergebnisse. Jedoch ist zu beachten, dass die hier vorgefundene partielle Technikbewertung nur unter der strikten Beachtung von zuvor getroffenen Annahmen Aussagen zu einer eng definierten Fragestellung liefern kann.⁶⁷⁹ So kann konstatiert werden, dass die Verfolgung einer idealtypischen (vollständigen) Technikwirkungsanalyse aufgrund der Vielzahl der zu untersuchenden Wirkungsdimensionen allenfalls nur in einem breit angelegten Forschungsprojekt möglich ist.

3.6 Technikwirkungsanalyse für automatisierte Melkverfahren

Die oben getroffenen generellen Aussagen zur idealtypischen Technikwirkungsanalyse sind auch auf die Untersuchung der Technikwirkung von vollautomatisierten Melkverfahren zu übertragen. Da sich die einzelnen Individuen und Unternehmen, aber auch die einzelnen Wirtschaftssektoren untereinander sowie zum gesellschaftlichen Umfeld in einem permanenten Bezugssystem bezüglich AMV befinden, muss sich eine umfassende Technikwirkungsanalyse für AMV grundsätzlich auf alle Wirkungsfelder im Innovationsprozess zu beziehen.

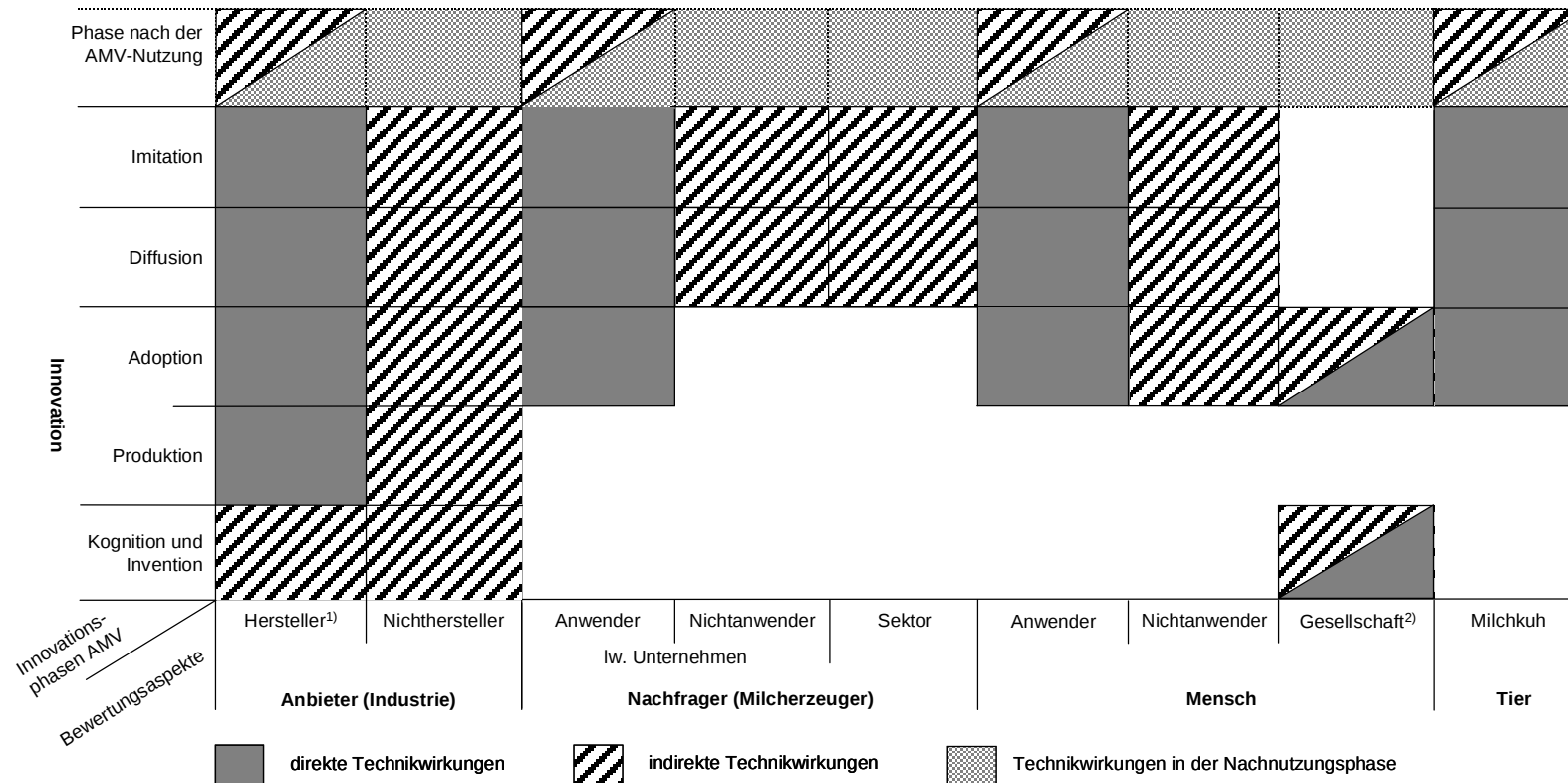
⁶⁷⁷ Vgl.: BEUSMANN, V. [Folgen des Einsatzes von bST].

⁶⁷⁸ Vgl.: BEUSMANN, V. [Folgen des Einsatzes von bST], S. 14.

⁶⁷⁹ Vgl.: ZEDDIES, J.; DOLUSCHITZ, R. [Potentielle Auswirkungen von bST], S. 299-301.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Abbildung 14: Bewertungsmatrix einer Technikwirkungsanalyse für automatisierte Melkverfahren (AMV)



¹⁾ Innovatoren, Imitatoren sowie Lizenznehmer.

²⁾ Der Begriff Gesellschaft umfasst das die Milcherzeuger umgebende mittel- und unmittelbar soziale Gebilde, insbesondere Verbraucher, Politik, Verwaltung und Wissenschaft.

Quelle: Eigene Darstellung und Ergänzung nach HÜBNER, H. [Innovations- und Technologiemanagement], S. 1549.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Eine entsprechende Untersuchung ist dabei unabdingbar auf die Bewertungsfelder Technik-Anbieter, Technik-Nutzer, Mensch und Tiergerechtigkeit auszuweiten. Die in Abbildung 14 dargestellte Spannweite der Bewertungsmatrix geht dabei (jedoch) notwendigerweise mit einer hohen Komplexität des Untersuchungsgegenstandes einher. Diese Komplexitätserhöhung ist insbesondere der vielfältigen Interdependenzen, vor allem in den Systemzusammenhängen Mensch-Tier-Technik-Betrieb, aber auch den Wechselwirkungen zwischen dem industriellen Sektor der Technik-Anbieter und dem der Technik-Nachfrager geschuldet. Eine notwendige Eingrenzung des Untersuchungsgegenstandes kann dabei auf der Grundlage des Umfangs der angenommenen Technikwirkungen in den einzelnen Bewertungsfeldern vorgenommen werden.⁶⁸⁰

Die Konzeption einer umfassenden Technikwirkungsanalyse für AMV basiert auf verschiedenen Überlegungen, von denen die nachfolgenden als von besonderer Bedeutung angesprochen. Dabei ist herauszustellen, dass neben der Bewertung der natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen bei einer Einführung von AMV insbesondere die Wissensdefizite bezüglich der ökonomischen Folgen auf betrieblicher und sektoraler Ebene sowohl bei Anbietern als auch Nachfragern der neuen Technik - zu beheben sind:⁶⁸¹

- In der bisherigen Tradition der Analysen von Diffusionsprozessen wurden den Wettbewerbsbeziehungen zwischen den Anwendern und den Herstellern wie auch den Wettbewerbsbeziehungen der Hersteller von neuen Techniken untereinander deutlich weniger Gewicht beigemessen als den Wettbewerbsbeziehungen der Anwender untereinander.⁶⁸² In der Tat greift ein Erklärungsmodell für den Diffusionsprozess von AMV, das sich nur auf den

⁶⁸⁰ MEYER führt an, dass es sich selbst bei einer gut eingrenzbaaren Einzeltechnologie wie etwa bST um einen komplexen Untersuchungsgegenstand handelt, bei dem nicht alle Zusammenhänge und Wechselwirkungen, aufgrund der Offenheit des Systems, mit in die Untersuchung einbezogen werden können. Vgl.: MEYER, R. (Technikfolgen-Abschätzung im Bereich der Landwirtschaft), S. 495.

⁶⁸¹ Generell erscheinen die Wissensdefizite in den Natur- bzw. Ingenieurwissenschaften größer als die Wissensdefizite bei den ökonomischen und gesellschaftlichen Wirkungen technischer Entwicklungen. Vgl.: BECHMANN, G. [Folgeprobleme der Technikbewertung], S. 198. Diese Aussage kann auch auf die bisherige Entwicklung der Technikwirkungsanalyse von AMV übertragen werden.

⁶⁸² In Ermangelung dessen wurden u. a. die Preise alter und neuer Güter als gegeben angenommen.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

Wettbewerb der Landwirte auf den Absatzmärkten beschränkt, deutlich zu kurz. Vielmehr ist ein Analysemodell um die Betrachtung des Wettbewerbs auf die für Innovationen erforderlichen Input-Märkte zu erweitern. Wichtig hierbei ist, dass aufgrund der bestehenden Wettbewerbsbeziehungen die Preise für AMV im Zeitverlauf einer ständigen Veränderung unterliegen mit der Folge einer Varianz der relativen Wettbewerbsfähigkeit von AMV. Da die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit von AMV selbst somit ein Ergebnis des Wettbewerbsprozesses ist, sind die Wechselbeziehungen zwischen Angebot, potentieller Nachfrage, Adoption und Preisbildung auf dem Markt für automatisierte Melkverfahren als grundlegendes Forschungsfeld im Rahmen einer Technikwirkungsanalyse zu betrachten.

- Es ist im Zuge einer Technikwirkungsanalyse daher der Frage nach zu gehen, inwieweit die Diffusion von AMV nicht mehr primär durch deren relative Vorteilhaftigkeit, durch die Erweiterung des technischen Wissens einzelner Unternehmen oder durch die Ausprägung sozio-ökonomischer Merkmale potentieller Adopter geprägt ist, sondern durch den Wettbewerbsprozess auf den Inputmärkten - also auf der Ebene der Herstellerfirmen – bestimmt wird. Die realitätsnahe Bewertung der Technikwirkungen von AMV muss daher den Einfluss der Angebotsstruktur und somit der Angebotsfunktion sowie deren Determinanten auf den Diffusionsverlauf umfassen. Damit ist die Analyse der Technikwirkungen auf die Ebene der Melktechnikindustrie über alle Phasen des Innovationsprozesses auszudehnen.
- Ein weiteres Feld von besonderem Forschungsinteresse stellt die Analyse von Wechselwirkungen bei der Entwicklung und Produktion zwischen konventioneller Melktechnik und vollautomatisierten Melkverfahren dar. So können im Bereich der AMV-Entwicklung und -Produktion Lerneffekte entstehen, die einen relativ stärkeren Einfluss auf die Qualität konventioneller Melkverfahren als auf jene von AMV haben (u. a. Erkenntnisse im Precision Farming und der Automatisierung). Damit könnte c. p. eine relative Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Nichthersteller bzw. der Nichtanwender als indirekte Technikfolge mit der Einführung von AMV einhergehen. Insgesamt sind die möglichen - indirekten - Technikwirkungen auf die Nicht-

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

hersteller im Rahmen einer Technikwirkungsanalyse sowohl in der Phase der Kognition und Invention als auch in den späteren Phasen des Innovationsprozesses intensiv zu beleuchten. Jenseits der Beeinflussung der Nichthersteller über den Markt für Melktechnik ergeben sich vielschichtige Wechselwirkungen sowohl über die Inputmärkte als auch über die Weiterentwicklung des allgemeinzugänglichen Standes der Technik des Milchentzugs.

- Die Wirkung von AMV als neuem Verfahren des Milchentzugs auf die Milcherzeuger selbst – hier ist sowohl die unternehmensbezogene als auch die individuell-menschliche Betrachtungsweise gleichermaßen evident - stellt neben der Anbieterperspektive den zweiten wesentlichen Gegenstand des Konzepts zur Technikwirkungsanalyse für AMV dar. Dabei würde die Begrenzung der Analyse auf die direkten Technikwirkungen betreffend die AMV-Anwender eindeutig zu kurz greifen. Vielmehr muss sich die Betrachtung auch auf die indirekten Technikwirkungen erstrecken, die bei Nichtanwenden sowie auf sektoraler Ebene, auch unter Berücksichtigung eines time-lags, entstehen können.
- Die Einbeziehung einer zusätzlichen Gesellschafts-Perspektive, die sich sowohl auf alle Phasen des Innovationsprozesses bezieht als auch alle gesellschaftlichen Aspekte umfasst, erscheint aufgrund der zu vermutenden untergeordneten allgemeingesellschaftlichen – auch verbraucherpolitischen - Relevanz eines vermehrten Einsatzes von AMV als insgesamt vernachlässigbar. Dennoch sind drei Einzel-Bewertungsaspekte betreffend das gesellschaftliche Umfeld der Milcherzeugung von entscheidender Relevanz für den Verlauf des Innovationsprozesses von AMV. Zum einen ist dies die Bedeutung der staatlichen Grundlagenforschung, somit der öffentlichen Forschungsförderung zur Weiterentwicklung des technischen Milchentzugs und der damit verbundenen tierhaltungsbedingten Parameter. Zum anderen kann eine erhebliche Abhängigkeit der Adoption und Diffusion von AMV von der staatlichen Normsetzung, somit vom Gesetz- und Verordnungsgeber bestehen. Ein dritter Aspekt besteht im Einfluss der staatlichen Wirtschaftsför-

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

derung auf die Adoption von AMV.⁶⁸³

Zudem ist eine partial-gesellschaftliche Relevanz betreffend das direkte Umfeld der Milcherzeuger zu unterstellen, deren Ausprägungen jedoch in der Analyse der Technikwirkungen auf die Nichtanwender ausreichend erfasst werden können. Insgesamt ist die Gesellschaft, als das die Milchwirtschaft umgebene soziale Gebilde, sowohl direkt (Grundlagenforschung und Normsetzung) als auch indirekt (Wirtschaftsförderung) vom Innovationsprozess von AMV betroffen.

Sämtlichen Überlegungen zur Technikfolgenabschätzung muß jedoch grundsätzlich die Bewertung von AMV als Innovation im ökonomischen Sinne vorangestellt werden, da der Umfang der Diffusion und in Folge dessen das Ausmaß der Technikfolgewirkungen hierdurch bedingt sind. Dabei ist insbesondere die oftmals unreflektierte Gleichsetzung von Adoption und wirtschaftlichem Erfolg der übernehmenden Unternehmen in der Beurteilung des Innovationsprozesses von AMV kritisch zu beurteilen. Einzig die technische Überlegenheit von AMV über den bisherigen Kapitalbestand sowie über die konkurrierenden Techniken stellt keine hinlängliche Begründung für die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der neuen Technik dar. Die Adoptionsentscheidung als auch der Diffusionsprozess in Gänze sind in entscheidender Weise von den relativen Preisen alter und neuer, d. h. vollautomatischer Melkverfahren und von den die Preisverhältnisse widerspiegelnden relativen Qualitätsergebnissen abhängig. Andererseits muss die Übernahmeentscheidung bei AMV nicht in jedem Falle in der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit dieses Melk- und Haltungsverfahrens einzelbetrieblich begründet sein. Im Ergebnis ist daher aufgrund der technischen Vorteilhaftigkeit von AMV nicht von vorneherein eine vollständige Verdrängung der konventionellen Melkverfahren zu unterstellen.⁶⁸⁴ Vielmehr kann sich die vollzogene Übernahmeentscheidung für AMV ex post, u. a. aufgrund von falsch getroffenen Annahmen als Grundlage der Investitionsentscheidung, sowie aufgrund sich ändernder Parameter einzelbetrieblich sogar als Fehler darstellen. In Reaktion hierauf sind Deinvestitionen von AMV zu-

⁶⁸³ Insbesondere von der staatlichen Förderpolitik kann eine nicht unerhebliche gegenseitige Beeinflussung von neuer Technik und Gesellschaft / Politik ausgehen.

3 Untersuchung von Folgen technischen Wandels in der Landwirtschaft

gunsten konventioneller Melkverfahren denkbar, mit indirekten Techniknachfolgeeffekten auf Hersteller und Anwender von AMV sowie auf das eingesetzte Tierkapital. Im Falle einer geringen Übernahmerate im Falle einer abgebrochenen Diffusion, insbesondere jedoch im Falle einer umfassenden Überadoption, verbunden mit einer einzelbetrieblichen Deinvestition von AMV, ist daher die Phase nach der AMV-Nutzung mit in die Technikfolgenbewertung zu integrieren. Allgemein sind für die Phase nach der AMV-Nutzung Erkenntnisse über den weiteren technischen Fortschritt von Interesse. Dieser kann sowohl in der gemeinsamen Weiterentwicklung der AMV und konventioneller Melktechnik liegen, aber auch von gänzlich neuen Verfahren der Milchgewinnung geprägt sein. Dabei sind potentielle Technikwirkungen in allen Bewertungsfeldern zu vermuten, zumindest jedoch zu prüfen.

Grundlage einer umfassenden Technikwirkungsanalyse für vollautomatisierte Melkverfahren ist demnach die kritische Auseinandersetzung mit dem Forschungsgegenstand, insbesondere im Hinblick auf die Determinanten des Innovationsprozesses als Ergebnis der Interaktion von Technikanbietern und Nachfragern sowie die grundlegende Bewertung von AMV als Innovation.

⁶⁸⁴ Sei es auf Basis einer totalen oder in Form einer vollständigen intraorganisationellen Diffusion.

4 Adoption und Diffusion von AMV

4.1 Entwicklung und Ausbreitung technischer Fortschritte im Milchentzug

4.1.1 Zurückliegende technische Entwicklungen

Die Produktivitätssteigerung aufgrund der Übernahme technischer Fortschritte ist für die Tierhaltung im Vergleich zum Ackerbau erst deutlich später festzustellen. Hierbei ist insbesondere der Bereich des mechanisch-technischen Fortschritts hervorzuheben, der in der Bodenbewirtschaftung schon früh in der Substitution von Arbeit durch Kapital zum Ausdruck kam.⁶⁸⁵

Obwohl die Haltung von Rindern ab dem Jahre 6.000 v. Chr. nachgewiesen ist⁶⁸⁶, fand die Entwicklung des Rindes zum Haustier im achten bis zehnten Jahrhundert v. Chr. statt. Die Milchleistung des Rindes stand aber erst mit dem Beginn der Neuzeit im Vordergrund der Haltung und drängte fortan andere Nutzungsziele – je nach Rasse – stark in den Hintergrund. Die Anfänge der modernen planmäßigen Rinderzucht sind erst für das Ende des 18. Jahrhunderts dokumentiert.⁶⁸⁷

⁶⁸⁵ Vgl.: DOLUSCHITZ, R. [Technischer Wandel], S. 10.

⁶⁸⁶ Die ältesten Zeugnisse der Verwendung des Rindes als Milchtier gehen auf die Sumerer zurück. Vgl.: PARAU, D. [Milchentzug], S. 16 und NEUHAUS, U. [Weisse Quellen], S. 74-77.

⁶⁸⁷ Die Rinderhaltung wurde zuvor vorwiegend zur Versorgung mit Fleisch und Fellen betrieben. In einem weiteren Entwicklungsschritt erlangte die Arbeitsleistung des Rindes zunehmend an Bedeutung. Noch bis zum Mittelalter war die Ziege ein hauptsächlicher Milchlieferant. Vgl.: GOTTSCHALK, A. u.a. [Rinderzucht], S. 11.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Tabelle 1: Zeittafel bedeutender technischer Entwicklungen in der Milchviehhaltung

Zeitpunkt	Entwicklung
um 1817	Erste Versuche mit Melkröhrchen
1836	BLURTON-Patent zum Einsatz von Melkröhrchen
1860	Vakuum-Handmelkmaschine von COLVIN
1879	BALDWIN - Patent für eine Saug-Melkmaschine
1892	Patent von SOUTHERS und WEIR zur Zweitakt-Pulsation
1895	Einführung des sog. „Unterbrechers“ (Pulsator) von SHIELDS in der „Thistel-Melkmaschine“ (THISTEL)
1897	LAWRENCE-KENNEDY-Melkmaschine (Weiterentwicklung der Thistel-Melkmaschine)
1903	Zweiraum-Melkbecher aus Metall (GILLIES) in der „LAWRENCE-KENNEDY-GILLIES-Melkmaschine“ (LAWRENCE, KENNEDY, GILLIES)
1910	Erster „Echelon“-Stall von BOYCE (Vorgänger des Fischgräten-Melkstandes, Australien)
1925	Entwicklung einer Milchsleuse (sog. „Releaser“) im Rohrsystem von Melkanlagen („Releaser“-Rohrmelkanlagen, DE LAVAL)
1926	Tandemaufstallung und Nutzung eines speziellen Arbeitsganges zum Milchentzug (Vorgänger des Tandem-Melkstandes, AB SEPARATOR, Schweden)
1930	Weltweit erster Rotolaktor (New Jersey, USA; Hersteller: DE LAVAL)
1952	Erster moderner Fischgrätenmelkstand von SHARP (Neuseeland)
Ab 1970	Stärkere Verbreitung von Melkständen, Prozesssteuerung, Teilautomatisierung und EDV-gestütztes Herdenmanagement sowie Wissenschaftlich-technische Bemühungen um vollautomatisches Melken

Quelle: ALFA LAVAL AGRI [Melkfibel], S. 3-11; DODD, F.; HALL, H. [History and Development], S. 1-34; HERRMANN, K. [Vom Röhrchen zum Roboter], S. 75-88; PARAU, D. [Milchentzug], S. 47-84; RABOLD, K. [Milchgewinnung], S. 36-39; BISCHOFF, T. [Produktionstechnik], S. 74-83; FLEISCHMANN, W. [Milchwirtschaft], S. 122-123.

In etwa zeitgleich mit der beginnenden Selektion der Rinderbestände nach definierten Zuchtzielen wurden erste Versuche zur Erleichterung der Melkarbeit unternommen. Den Beginn einer Reihe von technischen Entwicklungen stellt das Patent von BLURTON (1836) dar, welcher sog. „Melkröhrchen“ als Katheder zur Drainierung des Euters einsetzte.⁶⁸⁸ In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, über die Nachahmung des Handmelkens bzw. des Saugen des Kalbes das Melken zu mechanisieren, wobei sich vakuum-basierte Verfahren durchsetzen konnten. Diese wurden maßgeblich über die Nutzung von Vakuumschwankungen in Metallmelkbechern mit Gummieinsatz (STRUTHERS und WEIR, 1892 und HARTNETT 1893), die Einführung des „pulsierenden Vakuums“ (Unterbrechers) als Vorläufer des Pulsators (SHIELDS, 1895) sowie die Entwicklung des Zweiraummelkbeckers (HULBERT und PARK, 1902 sowie GILLIES, 1903)⁶⁸⁹ zur heutigen Zweitakt-Melkmaschine⁶⁹⁰ weiterentwickelt. Bereits 1903 konnte von GILLIES in den USA eine Melkmaschine vorgestellt werden, welche im Prinzip alle noch heute verwendeten Bauteile umfasste.⁶⁹¹

Ohne kommerziellen Erfolg blieben letztlich vakuumbasierte Verfahren, welche ausschließlich auf dem Saugprinzip beruhen.⁶⁹² Diese mit einem Einraummelkbecher ausgestatteten Geräte sind in der Regel durch beträchtliche Nachteile bezüglich der Eutergesundheit, der Milchleistung der Tiere sowie der Melkleistung gekennzeichnet.⁶⁹³ Weitere vom dominierenden Grundprinzip der zeitlich gesteuerten Pulsation im Zweiraummelkbecher abweichende Verfahren stellen die Systeme des „kontinuierlichen Milchentzuges“⁶⁹⁴ sowie das Verfahren des „Schwingungs-

⁶⁸⁸ Vom ersten Versuch, das Handmelken durch mechanisch wirkende Vorrichtungen zu ersetzen, wird für das Jahr 1817 berichtet. Vgl.: PARAU, D. [Milchentzug], S. 48.

⁶⁸⁹ Es ist nicht bekannt, ob der von HULBERT und PARK entwickelte Mehrraum-Melkbecher über das Stadium der Entwicklung hinaus gelangte. Vgl.: DODD, F.; HALL, H. [History and Development], S. 12.

⁶⁹⁰ Ebenso wurden Dreitakt-Melkmaschinen entwickelt. So kamen in der Sowjetunion Maschinen zum Einsatz, bei denen zwischen Saug- und Entlastungstakt ein Ruhetakt eingefügt wurde. Vgl.: SCHLEITZER, G. [Melkroboter], S. 58. HAPPEL entwickelte 1963 ein Verfahren, bei welchem die Zitze eine völlige Entlastung vom Vakuum im dritten Takt erfuhr. Vgl.: RABOLD, K. [Milchgewinnung], S. 36.

⁶⁹¹ Vgl.: GOTTSCHALK, A. u.a. [Melken], S. 37.

⁶⁹² Jedoch waren Maschinen, basierend auf diesem Prinzip, noch bis in die fünfziger Jahre am Markt erhältlich. Vgl.: DODD, F.; HALL, H. [History and Development], S. 19.

⁶⁹³ Vgl.: PARAU, D. [Milchentzug], S. 53.

Jedoch wurde auch dieses Funktionsprinzip weiterentwickelt. Vgl.: TOLLE, A.; HAMANN, J. [PME-System], S. 72-92. Weiterführend siehe hierzu: BMELF [Fortschritte in der Milchproduktion].

⁶⁹⁴ Vgl.: TOLLE, A.; HEESCHEN, W. [Dauerkatheter], S. 60-72.

melkens“ dar, deren wirtschaftliche Bedeutung jedoch gering geblieben ist.⁶⁹⁵

4.1.2 Ausbreitung technischer Fortschritte im Milchentzug

Ökonomische Notwendigkeiten sowie die Möglichkeit der breiten Anwendung des technischen Fortschritts stellen die grundlegenden Faktoren der schnellen Ausbreitung von Anlagen zum maschinellen Milchentzug dar. Der Innovationsprozess von Melkmaschinen lässt sich zeitlich in drei Phasen einteilen:

Phase I: Entwicklungsphase (bis 1920)

Antrieb zum Einsatz von Melkanlagen war in der ersten Phase neben Aspekten der Arbeitserleichterung vor allem das Bestreben, Arbeitskräfte durch den Einsatz von technischen Anlagen mittels Kapital zu substituieren.⁶⁹⁶ Da in den stark wachsenden Volkswirtschaften das Wertgrenzprodukt des Arbeitseinsatzes in den außerlandwirtschaftlichen Sektoren (sekundärer und tertiärer Sektor)⁶⁹⁷ deutlich schneller steigt als in der Landwirtschaft selbst, traten hier vor allem Betriebe mit Lohnarbeitsverfassung in einen sich intensivierenden Wettbewerb um Arbeitskräfte ein.⁶⁹⁸ Die aufgrund einer geringeren Produktivität des Faktors Arbeit im Vergleich zur übrigen Wirtschaft geringere Grenzentlohnung der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte ließ die Opportunitätskosten der in der Landwirtschaft tätigen Personen in dieser Phase stark ansteigen.⁶⁹⁹ Somit lässt sich erklären, dass es vor allem größere milchviehhaltende Betriebe mit Lohnarbeitsverfassung waren, welche als Pioniere des Melkmaschineneinsatzes auftraten. Auch die vorzufindende regionale Verteilung des frühen Einsatzes von Anlagen des technischen Milchentzuges (hier in ers-

⁶⁹⁵ Vgl.: BISCHOFF, T. [Produktionstechnik], S. 80.

⁶⁹⁶ Vgl.: FLEISCHMANN, W. [Milchwirtschaft], S. 122.

⁶⁹⁷ Zur Sektorenabgrenzung nach FISHER, FOURASTIÉ, CLARK und WOLFE in der Drei-Sektoren-Hypothese vgl.: KNOTTENBAUER, K. [Strukturwandel], S. 64-114.

⁶⁹⁸ Vgl.: DODD, F.; HALL, H. [History and Development], S. 1.

⁶⁹⁹ Unter der Annahme, dass sich der Arbeitnehmerhaushalt auf dem Arbeitsmarkt als Mengenanpasser verhält und somit die Entlohnung l ($l_{landw.}$, $l_{gew.}$) nicht beeinflussen kann, wird hier ein Angebotsverhalten der Arbeitsleistung unterstellt, was unter Berücksichtigung verschiedener Mobilitätshemmender Einflussgrößen ein Maximum an Einkommen ermöglicht. Bei der Betrachtung der Arbeitsnachfrage wird angenommen, dass die Grenzkosten, bezogen auf die Arbeitseinsatzmenge, dem Lohnsatz gleichzusetzen sind ($l = \frac{\Delta A}{\Delta A} \times l$, bei $\Delta K = \Delta A \times l$). Als Entscheidungsregel lässt sich somit für den Unternehmer der Lohnsatz dem Wertgrenzprodukt der Arbeit gleichsetzen: $l = \frac{\Delta x}{\Delta A} \times p$.

Vgl.: HENRICHSMEYER, W. u.a. [Volkswirtschaftslehre], S. 101-103; SEEL, B. [Ökonomik], S. 196-

4 Adoption und Diffusion von AMV

ter Linie Neuseeland, Australien, Großbritannien und die USA) ist auf die beschriebene Wettbewerbssituation um Arbeitskräfte zurückzuführen.⁷⁰⁰

Phase II: Konsolidierungs- und Reifungsphase (1920 bis 1940)

Die zweite Phase der Ausbreitung von Melkmaschinen ist durch eine Konsolidierung im Markt gekennzeichnet. So erfuhren die in der ersten Phase gefundenen Grundprinzipien der Technik keine einschneidende Weiterentwicklung.⁷⁰¹ Hingegen wurden Verbesserungen bei der Verwendung der eingesetzten Materialien erreicht. Die dennoch festzustellenden Fortschritte in der Anwendung der Technik sind in dieser Zeitspanne in erster Linie auf Erfahrung aus der praktischen Anwendung in landwirtschaftlichen Betrieben und nicht auf eine allgemeine, objektivierende Forschungstätigkeit zurückzuführen.⁷⁰² Der verstärkte Fokus auf anwendungsbedingte Probleme führte jedoch vor allem gegen Ende dieser Phase zu einer intensiveren Beachtung der bovinen Mastitis.⁷⁰³ Vor dem Hintergrund der konjunkturell bedingten Unterbeschäftigung während der Weltwirtschaftskrise der 1930er Jahre können jedoch allgemein relativ geringe ökonomischen Anreize festgestellt werden, arbeitssparende technische Fortschritte zu entwickeln und folglich in ihrer Anwendung im landwirtschaftlichen Betrieb weiter Arbeit durch Kapital zu substituieren. Die in dieser Phase aufgrund der hohen Verfügbarkeit von Arbeitskräften geringe Faktorentlohnung sowie niedrige Produktpreise für die erzeugte Rohmilch waren Gründe für eine verhaltene Marktentwicklung. Landwirte, die dennoch einen Vorteil in der Nutzung des technischen Fortschritts sahen, übernahmen überwiegend solche technische Lösungen, die es erlaubten, mit geringem Kapitalkaufwand bestehende Gebäude ohne bauliche Veränderungen zu nutzen. Die weite Verbreitung von Eimermelkanlagen, zu welchen auch die Hängeeimer-Melkmaschinen zählen, ist hierauf zurückzuführen.⁷⁰⁴ Der Markt für Melkmaschinen war insgesamt von Ge-

234; MANKIW, N. G. [Volkswirtschaftslehre], S. 416-426.

⁷⁰⁰ So wurden bereits 1906 in Australien ca. 20.000 Kühe mit der LAWRENCE-KENNEDY-GILLIES-Melkmaschine gemolken. Vgl.: DODD, F.; HALL, H. [History and Development], S. 14.

⁷⁰¹ Jedoch ist hier auch auf interessante Einzelentwicklungen, wie beispielsweise auf Melkstandanlagen hinzuweisen, die erst später eine verbreitete Anwendung erfuhren.

⁷⁰² Vgl.: DODD, F.; HALL, H. [History and Development], S. 22.

⁷⁰³ Vgl.: MUNCH-PETERSEN, E. [Bovine Mastitis] sowie LITTLE, R. B. [Bovine mastitis].

Zum Zusammenhang des Maschinenmelkens mit dem Auftreten der bovinen Mastitis sei hier exemplarisch auf A. J. BRAMLEY und A. TOLLE u.A. verwiesen. Vgl.: BRAMLEY, A. J. [Mastitis], S. 343-372; TOLLE, A. [Infektionsrisiko der bovinen Milchdrüse], S. 15-50.

⁷⁰⁴ Auch fällt die erste Marktdiffusion von einfachen Weidemelkanlagen (HOSIER-Melkanlagen) in Neuseeland in diese Periode. Vgl.: DODD, F.; HALL, H. [History and Development], S. 24-26.

4 Adoption und Diffusion von AMV

räten für den vorwiegenden Einsatz in Familienbetrieben geprägt. Hier stand nicht in erster Linie die Reduzierung der aufzuwendenden Entlohnung für eingesetzte Arbeitskräfte als Investitionsanreiz im Vordergrund, sondern die Entlastung der Familienarbeitskräfte während der Melkarbeit bei wachsenden Betriebs- und Herdengrößen.

Phase III: Ausbreitungsphase (ab 1940)

Wie aus den oben getroffenen Ausführungen sowie aus den Anwenderzahlen in Übersicht 9 hervorgeht, stellen Australien und Neuseeland frühe Zentren sowohl in der Entwicklung und Produktion von Melkmaschinen als auch in der Anwendung dieser Geräte dar (Pioniermärkte). Der Unterschied im Umfang der Nutzung von Melkanlagen zu Beginn der vierziger Jahre zwischen Ozeanien und den anderen dargestellten Ländern ist augenfällig. So wurde in Ozeanien zu dieser Zeit bereits in über 50% der Betriebe eine Melkanlage eingesetzt, wohingegen in Mitteleuropa noch unter 5% der Milcherzeuger eine Melkanlage zum Einsatz brachten.

Übersicht 9: Einsatz von Melkmaschinen in ausgewählten Ländern Anfang der 1940er Jahre¹

Land	Anteil der Betriebe mit Melkmaschine (%)	Land	Anteil der Betriebe mit Melkmaschine (%)
Neuseeland	55	Niederlande	3
Australien	55	Belgien	2
Schweden	35	Deutschland	0,2
Vereinigtes Königreich	30	Frankreich	0,2
USA	10		

¹Zu diesem frühen Stadium des Einsatzes von Melkmaschinen lassen sich noch keine exakten Zahlen für deren Einsatzumfang weltweit ermitteln, weshalb die hier aufgeführten Zahlen lediglich eine Schätzung für die aufgeführten Länder darstellen.

Quelle: BRAMLEY, A. J.; DODD, F.; MEIN, G.; BRAMLEY, J. A. [Machine milking and lactation] S. 27.

Die speziellen Gegebenheiten der Milchproduktion in Australien und Neuseeland waren die Grundlage für die, im Vergleich zu anderen Regionen, schnelle Adoption

4 Adoption und Diffusion von AMV

von Melkmaschinen. Diese sind:⁷⁰⁵

- Die sich schon früh abzeichnende geringe Verfügbarkeit von Arbeitskräften in der Milchviehhaltung;
- Die im Vergleich zu anderen Produktionsregionen im Durchschnitt größeren Betriebe,
- Die geringen Gebäudeinvestitionen;
- Die geringeren Verkaufserlöse pro kg Milch.

Aufgrund der kriegsbedingten Verknappung und der sich anschließend abzeichnenden geringen Verfügbarkeit von landwirtschaftlichen Arbeitskräften im Zuge eines einsetzenden starken wirtschaftlichen Wachstums gewann der Melkmaschineneinsatz weltweit zunehmend an Bedeutung. In den USA und Großbritannien, wo die durchschnittliche Herdengröße am schnellsten wuchs, wurde 1970 in nahezu allen Betrieben eine Melkanlage genutzt. In Mitteleuropa war, aufgrund der langsameren Herdenentwicklung, dieser Status erst 1980 erreicht.⁷⁰⁶ Die schnelle Ausbreitung der Melktechnik in dieser Phase ist zum einen auf die technischen Innovationen zurückzuführen, mit denen es möglich war, Arbeitskräfte einzusparen und gleichzeitig die Qualität der Arbeitserledigung zu verbessern. Zum anderen förderten die veränderten wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen – verstärktes Betriebsgrößenwachstum bei steigenden Opportunitätskosten sowie Wunsch nach Arbeitserleichterung – die Diffusion der Technik.

In Deutschland wurde 1896 die erste Melkmaschine eingesetzt, wobei es sich hier um eine Anlage vom Typ THISTLE handelte.⁷⁰⁷ Nachdem in den Folgejahren die Möglichkeit des maschinellen Milchentzuges auf ein „beachtliches Interesse“ gestoßen war,⁷⁰⁸ ging der Umfang von eingesetzten Melkmaschinen jedoch im Zeitraum zwischen 1914 und 1920 wieder zurück. So waren 1924 im Deutschen Reich

⁷⁰⁵ Vgl.: DODD, F.; HALL, H. [History and Development], S. 21f.

⁷⁰⁶ Vgl.: DODD und HALL betonen vor allem die Bedeutung der unabhängigen Forschung zur Generierung von Innovationen in der Melktechnikentwicklung und damit zur Diffusion ab 1950. Vgl.: DODD, F.; HALL, H. [History and Development], S. 28.

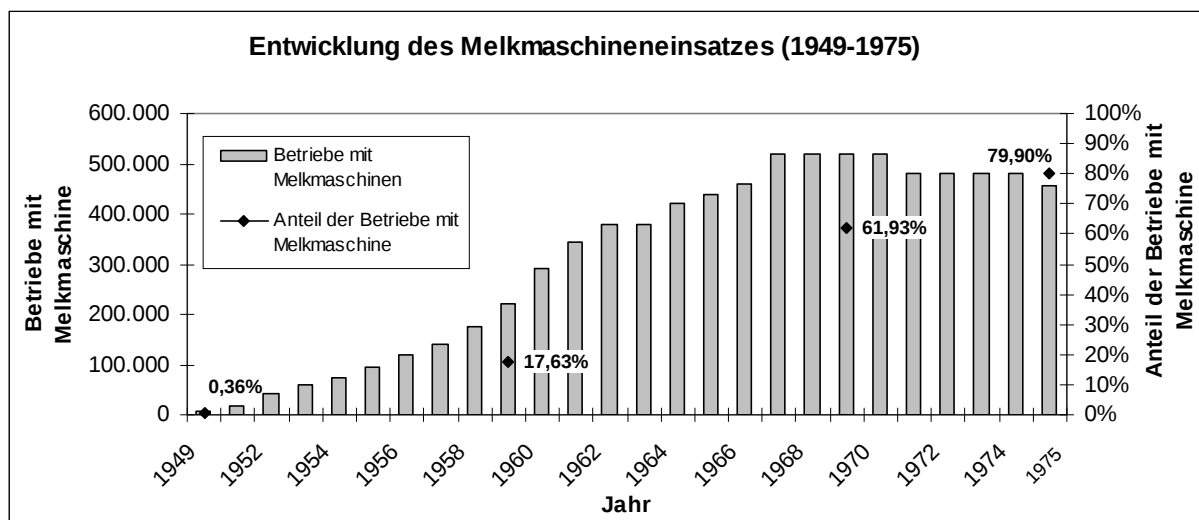
⁷⁰⁷ Der Ersteinsatz einer Melkmaschine fand auf dem Gut Fritzow bei Kolberg (Pommern) statt. Vgl.: FLEISCHMANN, W. [Milchwirtschaft], S. 122.

⁷⁰⁸ Dies spiegelt sich in der Vielzahl von Entwicklungen in diesem Zeitraum wider. So wurden in der Zeit von 1908 und 1914 mehr als 20 Melkmaschinentypen bekannt. Vgl.: PARAU, D. [Milchentzug], S. 58.

4 Adoption und Diffusion von AMV

nur etwa 50 Melkanlagen verschiedenen Typs im Einsatz.⁷⁰⁹ Erst ab Mitte der Zwanziger Jahre zeigte sich eine stark wachsende Nachfrage nach Melkmaschinen. So kamen in den Jahren 1925 bis 1930 etwa 12.000 Maschinen zum Erstein-satz. Eine deutlichere Marktentwicklung setzte in Deutschland ab 1950 ein. 1949 setzten erst 0,36% aller westdeutschen Betriebe eine Melkanlage ein, 1959 waren es bereits 17,63%. Nach einer weiteren dynamischen Marktentwicklung stagnierte die Zahl der eingesetzten Maschinen ab 1967 (vgl. Abbildung 15). Dennoch stieg der Anteil der Betriebe mit Melkmaschine aufgrund des anhaltenden strukturellen Anpassungsprozesses der milcherzeugenden Betriebe weiter an und erreichte 1975 einen Wert von ca. 80%.

Abbildung 15: Entwicklung (Diffusion) des Melkmaschineneinsatzes in der Bundes-republik Deutschland von 1949-1975¹



¹Bis einschl. 1963 ohne Berlin (West); der Wert für das Jahr 1953 ist aus dem Wert des Vor- und Folgejahres gemittelt.

Quelle: BMELF/BMVEL (Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, versch. Jahrgänge). Eigene Berechnung und Darstellung.

⁷⁰⁹ Vgl.: HERRMANN, K. [Vom Röhrchen zum Roboter], S. 81.

4.2 Automatische Melkverfahren im Kontext des Precision Livestock Farming

4.2.1 Die integrierte rechnergestützte Landwirtschaft (Precision farming)

Die Entwicklung des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft wird nach SCHÖN im Wesentlichen von den verschiedenen landwirtschaftlichen Entwicklungstendenzen bestimmt. Aus diesen lassen sich Anforderungen für den weiteren technischen Fortschritt sowie die technischen Entwicklungslinien ableiten, wodurch neue Möglichkeiten für Innovationen in der Landwirtschaft eröffnet werden.⁷¹⁰ Als wesentliche Entwicklungstendenzen können hier die Steigerung der Flächen-, Arbeits- und Kapitalproduktivität isoliert werden.⁷¹¹

Die landwirtschaftliche Produktion unterliegt somit einer permanenten Veränderung ihres technischen und wirtschaftlichen Umfelds, welche

- in einer zunehmenden Verflechtung zwischen landwirtschaftlichen Unternehmen und ihren Geschäftspartnern,⁷¹²
- in der fortlaufenden Umgestaltung der unternehmensinternen Organisations- und Entscheidungsstrukturen sowie
- in der Wirkung technischer Fortschritte, in naher Zukunft vor allem der Informations- und Kommunikationstechnik,

zum Ausdruck kommt. Diese Entwicklungen bedingen in Verbindung mit der Notwendigkeit einer wettbewerbsfähigen, faktoreffizienten Produktionsgestaltung eine zunehmende Bedeutung des Faktors Information für landwirtschaftliche Unternehmen.⁷¹³

Im Produktionsprozess fungiert demzufolge Information als Produktionsfaktor, da erst durch dessen Einsatz die verschiedenen Be- und Verarbeitungsaufgaben im Produktionsprozess initiiert und gelenkt werden können.⁷¹⁴ Somit wird die Generie-

⁷¹⁰ Vgl.: SCHÖN, H. [Rechnergestützte Produktion], S. 13.

⁷¹¹ Vgl.: STEINHAUSER, H.; LANGBEHN, C.; PETERS, U. [Landwirtschaftliche Betriebslehre], S. 180ff sowie SCHÖN, H. [Rechnergestützte Produktion], S. 13ff.

⁷¹² Zur Informations-Beziehung zwischen Landwirten und Geschäftspartnern vgl.: CASADY, W. W.; PFOST, D. L. [Farmer-Dealer Relationships]: S. 975–982.

⁷¹³ Als Übersichtswerk zu Stand und Einsatz der Agrarinformatik vgl.: DOLUSCHITZ, R.; SPILKE, J. [Agrarinformatik].

⁷¹⁴ Der effiziente Einsatz des Faktors Information hat somit einen entscheidenden Einfluss auf die

4 Adoption und Diffusion von AMV

rung und Weitergabe (Kommunikation) von nützlichen Informationen zu einem kritischen Faktor für den Unternehmenserfolg.⁷¹⁵ Kommunikationspartner sind dabei alle am Führungs- und Entscheidungsprozess beteiligten Produktionsfaktoren, woraus sich Kommunikationsbeziehungen zwischen Arbeitskräften und technischen Anlagen mit- als auch untereinander ergeben. Auf der Grundlage dieser Kommunikationsprozesse werden Informationen für Entscheidungsmodelle bereitgestellt, die, etwa auf der Basis eines Vergleichs von SOLL⁷¹⁶- und IST-Werten, in ihren Ergebnissen zu einer optimalen Faktoreinsatzkombination, also zu einer höchstmöglichen Effizienz des Faktoreinsatzes führen sollen. Der Nutzen eines solchen Vorgehens im Entscheidungsprozess hängt jedoch für KUHLMANN zum einen von der Definition zulässiger Handlungsalternativen und damit von der aufwendigen Gewinnung von operationalen SOLL-Werten ab. Zum anderen ist für diesen Autor die Qualität der Bestimmung der auf einen Produktionsprozess einwirkenden Input-Variablen von entscheidender Bedeutung für den Nutzen von Entscheidungs-Unterstützungs-Systemen.⁷¹⁷ Vor allem die biotisch determinierten, landwirtschaftlichen Produktionsprozesse sind von raum- und zeitvarianten Input-Variablen stark beeinflusst. Die tiefe Kenntnis aller die Produktionsfunktion bestimmenden Gesetzmäßigkeiten und Einflussvariablen stellt somit die Grundlage der Entscheidungsfindung dar. Die Feststellung und Zuordnung der Werte, welche diese Variablen einnehmen können, ist somit Voraussetzung für eine optimale Produktionsgestaltung.⁷¹⁸ Dabei muss die Möglichkeit der zeitnahen Beeinflussung der Inputvariablen im Produktionsprozess gegeben sein.

SCHÖN erkennt jedoch, dass gerade in der landwirtschaftlichen Produktion der Informationsgewinnung und -verarbeitung enge Grenzen gesetzt sind, was im Hinblick auf eine wettbewerbsfähige Produktion eine Verbesserung des Informationsmanagements unabdingbar macht. Um das Informationsmanagement landwirtschaftlicher Unternehmen zu verbessern, zeichnen sich vor allem zwei Ansatz-

Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Eine Analyse der Eigenschaften des Produktionsfaktors „Information“ gibt BODE, J. [Produktion von Information], S. 77–96.

⁷¹⁵ Vgl.: AUERNHAMMER, H. [IT in der Landwirtschaft], S. 10–14.

⁷¹⁶ SOLL-Werte liegen hier in der Form von sach-, zeit- und raumbezogenen Werten vor. Vgl.: KUHLMANN, F. [Informationstechnologie], S. 9.

⁷¹⁷ Vgl.: KUHLMANN, F. [Informationstechnologie], S. 9ff.

⁷¹⁸ Vgl.: KUHLMANN, F. [Informationstechnologie], S. 11ff.

punkte für technischen Fortschritt ab:⁷¹⁹

- die selbsttätige Führung technischer Teilvorgänge sowie
- die Unterstützung von Führungs- und Entscheidungsprozessen.

Technische Fortschritte, welche sich in einer Leistungssteigerung der Informations- und Kommunikationstechnik ausdrücken, führten in der Vergangenheit zu Kostenreduzierungen bei der automatisierten Prozessdatenerfassung sowie der Prozesssteuerung. Die bisherige Entwicklung zeigt, dass Grenzkosten der Informationsgewinnung zunehmend von dem zu erwartenden Grenznutzen der Information überstiegen werden.⁷²⁰ Die automatisierte Datenerfassung bildet dabei den Ausgangspunkt der integrierten rechnergestützten Landwirtschaft, welche die rechnergestützte Prozessführung und die rechnergestützte Entscheidungsfindung miteinander vereint.⁷²¹ Diese, auch als Precision Agriculture bezeichnete Produktionsweise, zeichnet sich durch die Nutzung einer möglichst umfassenden Information aller für eine Prozesssteuerung relevanter, produktionsbeeinflussender Variablen aus. Dabei erlaubt eine Vernetzung von Sensorik, Steuerungs- und Regelungselektronik die Realisierung von Automatisierungsvorgängen.⁷²² Die präzise und differenzierte Erfassung von Umwelt- und Produktionsdaten sowie der auf dieser Basis gesteuerten Produktionsprozesse führen, wie in Abbildung 16 dargestellt, im Bereich der Landbewirtschaftung (Precision Forestry, Precision Farming) zu einer flächenspezifischen Bewirtschaftung⁷²³ und im Falle der Tierhaltung (Precision Livestock Farming) zu einer Einzeltierbetrachtung.⁷²⁴

⁷¹⁹ Vgl.: SCHÖN, H. [Rechnergestützte Produktion], S. 19.

⁷²⁰ Vgl.: SCHÖN, H.; AUERNHAMMER, H. [Prozesssteuerung und Automatisierung], S. 130–140.

⁷²¹ Vgl.: SCHÖN, H. [Rechnergestützte Produktion], S. 20.

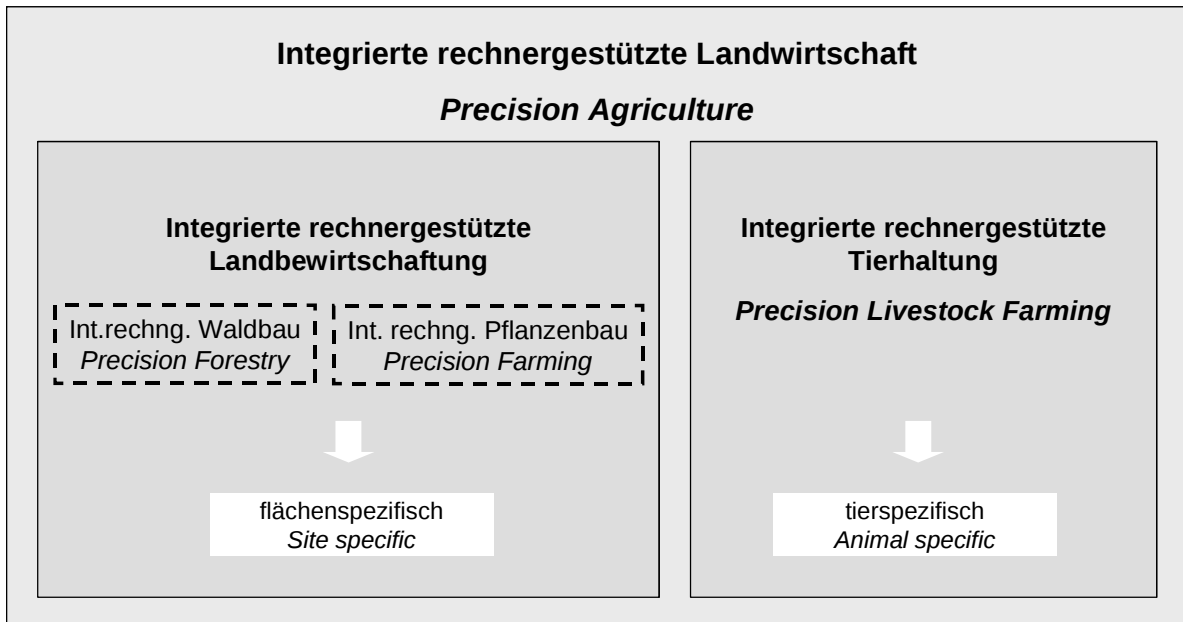
Zu grundsätzlichen Erwägungen bzgl. der im Precision Farming eingesetzten Technik vgl.: SCHUELLER, J. K. [Technology], S. 33–44.

⁷²² Vgl.: SCHÖN, H. [Entwicklungstendenzen], S. 34–37 sowie DOLUSCHITZ, R.; JUNGBLUTH, T. [Precision Agriculture], S. 166–170.

⁷²³ Die Literatur zum Precision farming ist, vor allem was die flächenspezifische Bewirtschaftung betrifft, vielfältig. Vgl. exemplarisch: BELL T. [GPS], S. 53–66, LECHNER, W.; BAUMANN, S. [Global navigation satellite systems], S. 67–85 sowie EARL, R.; THOMAS, G.; BLACKMORE, G. S. [The potential role of GIS], S. 107–120.

⁷²⁴ Als Anwendungsebenen sind sowohl die Betrachtungen der Prozesse auf der Ebene des Einzeltiers, der Tiergruppe als auch des Tierbestandes (Abteil, Stall) möglich. Vgl.: BÜSCHER, W. [Prozesssteuerung/ -automatisierung], S. 245.

Abbildung 16: Rechnergestützte Verfahren in der Landwirtschaft

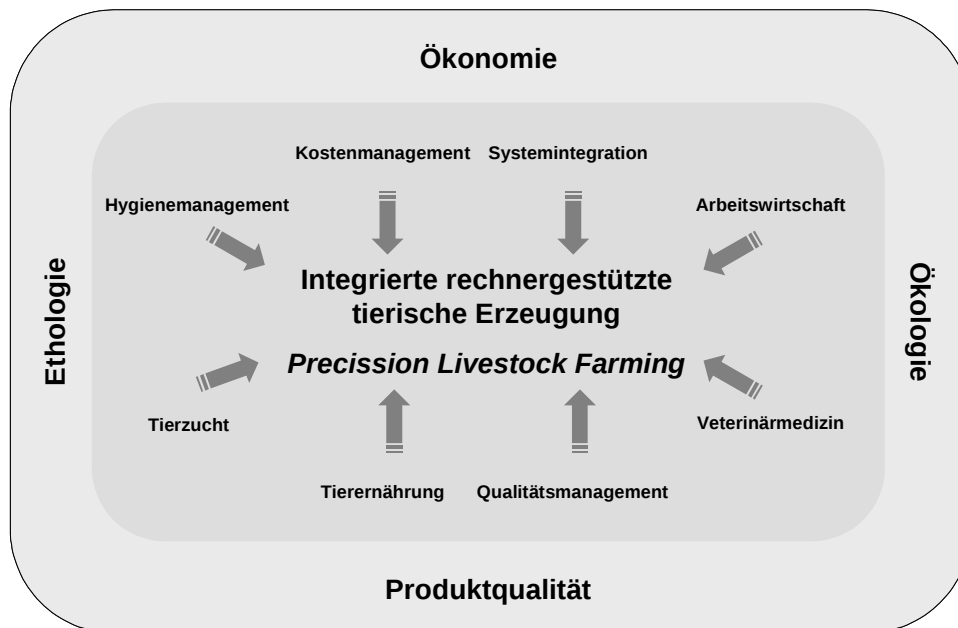


Quelle: Eigene Darstellung nach AUERNHAMMER, H. [Elektronikeinsatz], S. 51 sowie SCHÖN U.A. [Precision Livestock farming], S. 1.

4.2.2 Precision Livestock farming

Die Notwendigkeit, Umwelt- und Produktionsinformationen exakt und differenziert zu erfassen und diese in integrierten rechnergestützten Produktionsverfahren zur Steuerung von Prozessen heranzuziehen, gilt, wie in Kapitel o. a., nicht nur für den Pflanzenbau, sondern auch für die Tierhaltung. Die Verfahren der Tierproduktion sind grundsätzlich, wie in Abbildung 17 beschrieben, in ihrer Ausgestaltung durch Ökonomie, Ökologie, Ethologie und Produktqualität determiniert.

Abbildung 17: Einfluss- und Bestimmungsfaktoren des Precision Livestock Farming



Quelle: Eigene Darstellung und Ergänzung nach RATSCHOW, J.-P., [Auswirkungen], S. 6.

In den Verfahren des Precision Livestock Farmings werden diese Einflussfaktoren mit Maßnahmen des Produktionsprozesses in die Prozess- und Unternehmenssteuerung integriert. Als Ziele der integrierten rechnergestützten Verfahren der Tierhaltung können folgende Punkte festgehalten werden:⁷²⁵

- Physische und psychische Entlastung des eingesetzten Personals;
- Allgemeine Verbesserung der Arbeitsergebnisse;
- Verbesserung der Produktqualität;
- Verminderung verschiedener mit der Produktion verbundener Risiken;
- Verbesserung der Haltungsbedingungen des Tieres (artgerechte Tierhaltung);
- Anpassung der Input-Faktoren an den Bedarf des Tieres;
- Reduzierung des Umweltverbrauchs;
- Unterstützung des Personals bei Managementaufgaben;
- Verminderung der Präsenznotwendigkeit des Personals.

⁷²⁵ Vgl.: BÜSCHER, W. [Prozesssteuerung/ -automatisierung], S. 241 (Aufzählung ergänzt).

In ihrer Summe führen diese Ziele hin zu einer Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz⁷²⁶ der Produkte und Produktionsverfahren sowie, durch eine Senkung der Produktionskosten, zu einer Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Produktion.⁷²⁷ Für die Erreichung der oben formulierten Ziele ergeben sich für die rechnergestützte Produktionssteuerung in der Milchviehhaltung (Precision Dairy Farming) nach SCHÖN, ARTMANN und SCHLÜNSEN

- die Herdenführung,
- die Fütterung,
- die Tierüberwachung sowie
- automatische Melk- und Haltungssysteme

als Einsatzbereiche für rechnergestützte Systeme.⁷²⁸ Diese Anwendungen bedürfen als Voraussetzung der Tieridentifizierung,⁷²⁹ der individuellen Erfassung von Milchleistung und -qualität sowie der individuellen Futterzuteilung.⁷³⁰ Die einzelnen Funktionsbereiche Füttern, Liegen und Melken können so optimal gestaltet werden. Der zentrale Funktionsbereich „Melken“ erlaubt bereits in Melkständen moderner Bauart die tierindividuelle Zuordnung von Milchfluss und Milchmenge, sowie der elektrischen Leitfähigkeit und der Milchtemperatur.⁷³¹ Die noch bestehenden Defizite in der Datengewinnung und Prozesssteuerung im Precision Dairy Farming können letztlich nur durch eine Vollautomatisierung des Melkvorganges erreicht werden.⁷³² Der Einsatz zahlreicher Sensoren in vollautomatisierten Melkverfahren gibt

⁷²⁶ Die zukünftigen gesellschaftlichen Anforderungen an die landwirtschaftliche Nutztierhaltung werden bei KETELLAR-DE LAUWERE, C. U.A. diskutiert. Vgl.: KETELLAR-DE LAUWERE, C. U.A. [livestock farming systems], S. 26–31.

⁷²⁷ JUNGBLUTH führt aus, dass die Milchviehhaltung, wie andere Betriebszweige auch, zukünftig zu einer verstärkten Kontrolle der Input-Output-Relationen gezwungen ist. Vgl.: JUNGBLUTH, T. [Prozesssteuerung], S. 76.

⁷²⁸ Vgl.: SCHÖN, H.; ARTMANN, R.; SCHLÜNSEN, D. [Produktionssteuerung in der Milchviehhaltung], S. 165. Zum Überblick über die Prozesssteuerung in der Milchviehhaltung vgl.: KLINDWORTH, M. [Prozesssteuerung].

⁷²⁹ Zu aktuellen Möglichkeiten elektronischer Tieridentifizierung vgl. weiterführend: WENDL G.; KLINDWORTH, M.; KLINDWORTH, K. [Elektronische Kennzeichnungssysteme], S. 45, KLINDWORTH, M. u.a. [Transponder], S. 32–37 sowie PIRKELMANN, H. u.a. [elektronische Tierkennzeichnung], S. 34–40.

⁷³⁰ Vgl.: BRUNSCH, R. [Precision Farming], S. 74–78 sowie DOLUSCHITZ, R. [Precision Dairy Farming], S. 19–25.

⁷³¹ Dies ermöglicht das tierindividuelle Melken in Abhängigkeit der Milchflusskurve. Vgl.: JUNGBLUTH, T. [Prozesssteuerung], S. 77.

⁷³² Vgl.: SCHÖN, H.; ARTMANN, R.; SCHLÜNSEN, D. [Produktionssteuerung in der Milchviehhaltung],

4 Adoption und Diffusion von AMV

Aufschluss über Melkfrequenz und Milchleistung, über Milchqualität und Eutergesundheit sowie über die Eigenschaften der Viertelgemelke. Durch die Kombination der Messdaten verschiedener Funktionsbereiche sowie durch den Einsatz weiterer Sensoren ist die Erstellung eines detaillierten Bildes des physiologischen Status des Tieres und dessen Raum-Zeitverhaltens möglich.⁷³³ Durch die umfassende Tierüberwachung ergeben sich vielfältige Steuerungsmöglichkeiten des Produktionsprozesses. Die entstehende Datenmenge sowie die Komplexität der zur Verfügung stehenden Informationen kann jedoch bei ungenügendem Datenmanagement⁷³⁴ sowie bei einer unzureichenden fachlichen Qualifikation des Personals zu dessen Überforderung führen, was zur Gefahr von Fehlern⁷³⁵ im Entscheidungsprozess führen kann.⁷³⁶ Die bisher langsame Diffusion von Managementpraktiken auf der Basis des Precision Agriculture kann hiermit begründet werden.⁷³⁷ Als weiteres Adoptionshemmnis können die hohen anfallenden Investitionskosten genannt werden.⁷³⁸ Eine weitere Gefahr des Precision farming wird in der sektoralen Wirkung dieser Technik gesehen. So betonen WOLF und BUTTEL, dass es sich im Falle des Precision Farming nicht nur um einen technischen Fortschritt, sondern um ein neuartiges Managementsystem handelt. In seiner konsequenten Anwendung würde dieser nicht nur zu einer kostengünstigeren Produktion und besseren Managemententscheidungen, sondern aus Sicht der Autoren auch zu einem verstärkten Strukturwandel sowie zu neuen Produktionsformen („Industrialisierung“ der landwirtschaftlichen Produktion) führen.⁷³⁹

Im Zusammenhang mit dem Precision Dairy Farming sprechen SCHÖN u.A. insgesamt von einem grundlegend neuen Ansatz für die Milchviehhaltung. Da für die Automatisierung als letzter Stufe der rechnergestützten Produktion der Einsatz von

S. 166.

⁷³³ Vgl.: SCHÖN, H. u.A. [Precision Livestock farming], S. 4f.

⁷³⁴ Vgl.: LOWENBERG-DEBOER, J. [New Information Technology], S. 1283.

⁷³⁵ HARRIS benennt Risikofaktoren, welche die Input-Variablen der Produktion, das Personal sowie die eingesetzte Technik betreffen. Vgl.: HARRIS, D. [Risk Management], S. 949–955. Zum Datenmanagement in modernen Milchviehbetrieben vgl.: HARMS, J. [Datenmanagement], S. 56–59.

⁷³⁶ DAWSON spricht im Zusammenhang mit Precision Farming von einer Managementphilosophie. Vgl.: DAWSON, C. J. [Management], S. 45.

⁷³⁷ Hier kann auf die von DABERKOW vorgelegte Untersuchung der Adoption des Precision Farming unter US-amerikanischen Getreideanbauern verwiesen werden. Vgl.: DABERKOW, S. G. [Adoption rates], S. 941.

⁷³⁸ Vgl.: WEISS, M. D. [Precision Farming], S. 1278.

⁷³⁹ Vgl.: WOLF, S. A.; BUTTEL, F. H. [Political Economy], S. 1269 – 1274.

Roboter-Systemen erforderlich wird, kommt dem Einsatz vollautomatisierter Melkverfahren in der zukünftigen Gestaltung der Milchproduktion eine „Schlüsselrolle“ zu.⁷⁴⁰

4.3 Kennzeichen automatisierter Melkverfahren

4.3.1 Entwicklung von automatisierten Melkverfahren

Im Gegensatz zur rechnergestützten Tierhaltung, für welche schon länger praxisreife Systeme zur Tiererkennung und Fütterung zur Verfügung stehen, fehlten seither, wie oben diskutiert, in der Praxis nutzbare Systeme zum vollautomatischen Milchentzug. So sind vor allem aus Europa erste Ansätze bekannt, den Milchentzug zu automatisieren. In der Literatur sind eine Vielzahl von Möglichkeiten zum vollautomatischen Milchentzug beschrieben, welche in ihrer Entwicklung zum Teil bis Anfang der siebziger Jahre zurückreichen.⁷⁴¹ So beschreibt GABLER eine Vorrichtung zum automatischen Melken (1971)⁷⁴² sowie hierauf aufbauend GABLER, BÖHNISCH, HEMPEL und SEIBT ein automatisches Stallhaltungssystem für große Milchviehbestände (1973)⁷⁴³ mit dem Ziel der Steigerung der Arbeitsproduktivität in der Milchviehhaltung der DDR. Die Melkeinheit bestand hier nicht aus vier Melkbechern, sondern aus einem Gummisack, welcher das gesamte Euter umfasst. Dieser war mit Vertiefungen zur Aufnahme der Zitzen ausgestattet. Eine weitere technische Entwicklung wurde in Japan von NOTSUKI und UENO vorgestellt. Bei diesem - nie im praktischen Einsatz getesteten Gerät - wird das Tier mit Luftkissen fixiert. Die Zitzenbecher werden hier ohne Sensorsteuerung mittels zuvor gespeicherter Positionsangaben an das Tier herangeführt.⁷⁴⁴ Frühe Überlegungen zu automatisierten Systemen in der Milchviehhaltung sind auch aus der UdSSR (1980) bekannt.⁷⁴⁵ In Westdeutschland entwickelten JACOBSON und RABOLD ein vollständiges automati-

⁷⁴⁰ Vgl.: SCHÖN, H. U.A. [Precision Livestock farming], S. 4.

⁷⁴¹ Zur Entwicklung von automatisierten Melkverfahren vgl.: ORDOLFF, D [Grundlagen].

⁷⁴² Patent DD 82 592 (Veröffentlichung: 12. Juni 1971; Anmelder: EBERHARD GABLER). Der Patentanspruch umfasst eine „Melkeinrichtung, vorzugsweise für große Milchviehbestände“. GABLER, E. [Melkeinrichtung].

⁷⁴³ Patent DE 2 142 541 (Veröffentlichung: 01. März 1973; Anmelder: VEB KOMBINAT IMPULSA). GABLER, E.; BÖHNISCH, J.; HEMPEL, G.; SEIBT, G. [Stallanlage].

⁷⁴⁴ Veröffentlichung inter alia als US - Patent 4 010 714 (Veröffentlichung: 08. März 1977, Anmelder: National Institute of Animal Industry, Japan). NOTSUKI, I.; UENO, K.: [System].

⁷⁴⁵ Patent SU 9 350 21 (Veröffentlichung: 03. Juni 1982, Anmelder: GOL SPKB KOMPLEKSU MASHIN). Die Erfindung beschreibt ein „Apparatus for putting on milking sleeves“. KOSA, J.; BETIN, S. [Apparatus].

4 Adoption und Diffusion von AMV

sches Haltungsverfahren für Milchvieh.⁷⁴⁶ Die Milchkühe sollten nach Vorstellung der Autoren bei diesem Verfahren an computergesteuerten Krafffutterstationen mittels automatisch agierender Vorrichtungen gemolken werden. Bei einem weiteren in Frankreich vom Centre National du Machinisme Agricole , du Genie Rural, des Eux et du Forêts (CEMAGREF) entwickelten AMV ist jedem Zitzenbecher jeweils ein Roboterarm zugeordnet.⁷⁴⁷ Dieses System wurde nach ersten Erprobungen⁷⁴⁸ nicht zu Praxisreife weitergeführt. Des Weiteren wurden, als Grundlage der Entwicklung des vollautomatischen Milchentzuges, verschiedene Arbeiten u. a. zur Anatomie der Euterregion, zur Stimulierung der Milchdrüse, zur Euterentleerung, zur Melkfrequenz, zur Handhabungs- und Sensortechnik sowie zur Herdenüberwachung vorgelegt.

Aufbauend auf den grundlegenden Erkenntnissen zum automatischen Ansetzen von Melkzeugen⁷⁴⁹ sowie den ersten Ergebnissen zur rechnergestützten Futtervorlage,⁷⁵⁰ arbeiteten verschiedene Forschergruppen auf der Basis unterschiedlicher Sensor- und Steuerungssysteme an der Konzeption von Funktionsmodellen zum vollautomatischen Melken.⁷⁵¹ Die in der Praxis eingeführten Systeme gründen dabei zum einen auf den oben angeführten frühen Entwicklungen. Andererseits wurden neue konzeptionelle Lösungsvorschläge entworfen. Die grundsätzlichen Eigenschaften von Technik und Funktion automatisierter Melkverfahren gelten dabei ab Ende der achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts als bekannt.⁷⁵²

⁷⁴⁶ Patent EP 0 091 892 (Veröffentlichung 02. November 1988, Anmelder ALFA-LAVAL AB). JAKOBSON, S.; RABOLD, K. [Milking method], Sp. 9, Ziff. 1.

⁷⁴⁷ Patentanmeldung FR 2 595 197 (Veröffentlichung: 11. September 1987; Anmelder: CEMAGREF). MONTALESCOT, J.-B.; CAMUS, G.; LUCAS, J. [traite automatique].

⁷⁴⁸ Vgl.: ROSSING, W. u.a. [Robot milking], S. 94.

⁷⁴⁹ Vgl.: ORDOLFF, D. [Melkzeuge], S.: 222–224.

⁷⁵⁰ Vgl.: ARTMANN, R. U.A. [Technische Einrichtungen], S. 261–284.

⁷⁵¹ Vgl. hierzu beispielhaft: ORDOLFF, D. [Grundlagen], NUBER, B. [Simulationsstudien] sowie KREMER, J. H. [Milchentzug].

⁷⁵² ROSSING und IPEMA (1988) gingen in ihrer Darstellung des Stands der Technik von der zu optimistischen Annahme aus, dass nach der Behebung letzter technischer Probleme ab 1990 die Serienfertigung von automatisierten Melkverfahren in den Niederlanden aufgenommen werden würde. Vgl.: ROSSING, W.; IPEMA, A. H. [Melkroboter], S. R8-R11.

Hingegen betonte ECKL (1988) die noch ungelösten technischen Probleme automatischer Melkverfahren und sah eine Praxisreife erst deutlich nach 1992. Auch betonte ECKL für die Bundesrepublik Deutschland, dass der „ (...) Melkroboter überhaupt nur für einen sehr begrenzten Anwenderkreis in Frage kommen wird“. Vgl.: ECKL, J. [Roboterarm], S. 1326ff.

4.3.2 Merkmale automatisierter Melkverfahren

4.3.2.1 TECHNIK UND FUNKTION AUTOMATISierter MELKVERFAHREN

Bei der Darstellung von Technik und Funktion vollautomatisierter Melkverfahren ist zum einen auf die verschiedenen Prozessschritte bei der Durchführung des Melkvorganges sowie auf die notwendigen Systemkomponenten, welche die Grundfunktion des AMV darstellen, einzugehen. Zum anderen ist die eingesetzte Technik in ihren Eigenschaften zu erläutern.

Grundfunktionen von AMV

Um eine vollständige Automatisierung des Melkvorganges zu erreichen, ist es notwendig, die seither vom Melkpersonal durchgeführten Prozesse bedienungsfrei und funktionssicher mittels technischer Einrichtungen darzustellen. So muss die fehlerfreie Durchführung folgender Prozessschritte durch ein AMV gewährleistet sein:

- (1) Tieridentifikation,
- (2) Identifikation des Gesundheitsstatus des Tieres,
- (3) Euterreinigung und -kontrolle,
- (4) Anrüsten des Tieres,
- (5) Absondern der ersten Milchstrahlen,
- (6) Qualitätsprüfung der Milch,
- (7) Ansetzen des Melkzeugs,
- (8) Durchführen des Melkvorganges (Gewinnung Hauptgemelk),
- (9) Nachmelken und Kontrolle der Euterentleerung,
- (10) Abnahme des Melkzeugs.

Die Kontrolle der Funktionssicherheit der Anlage ist durch das AMV selbst zu gewährleisten. Dabei ist eine hohe Betriebs- und Funktionssicherheit, welche die Sicherung der Milchqualität (die Erkennung abnormer Milch) und der Tiergesundheit sowie ein sicheres automatisches Ansetzen der Melkbecher umfasst, für den Betrieb eines AMV unabdingbare Voraussetzung.

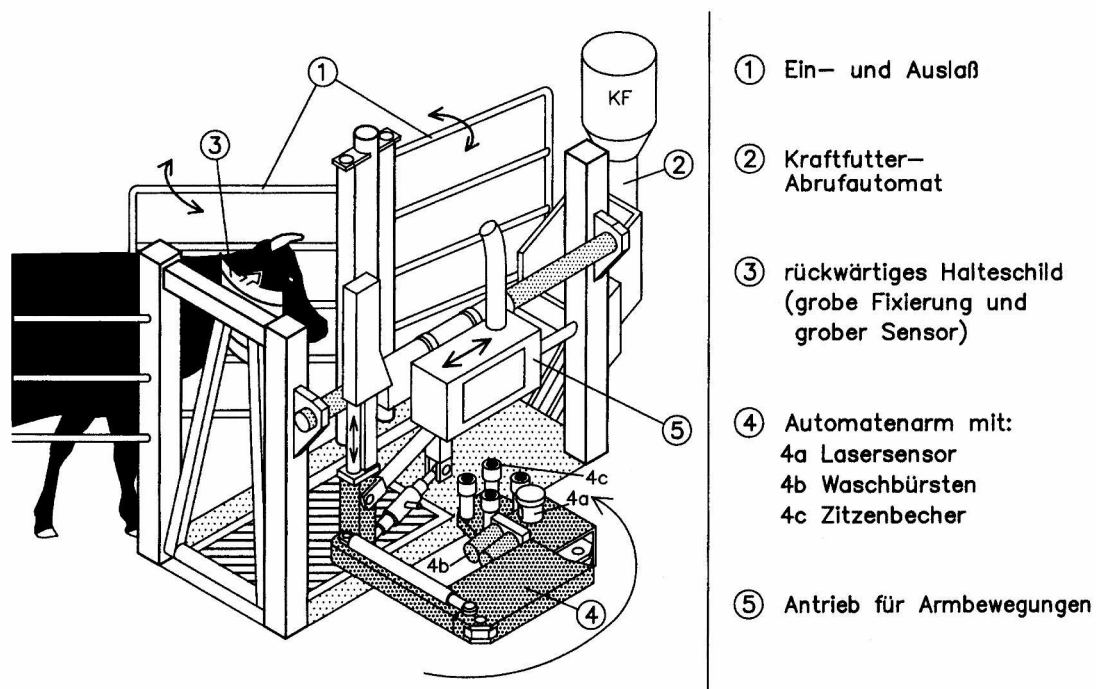
4 Adoption und Diffusion von AMV

Dementsprechend setzen sich vollautomatisierte Melkverfahren prinzipiell aus sechs Komponenten zusammen:

- Melkbucht (Box) mit Fixier- und Fütterungstechnik,
- Handhabungssystem (Automatenarm) und Sensortechnik,
- System zur Zitzenreinigung,
- Melktechnik mit Systemen zur Milchleistungs- und -qualitätsbestimmung sowie Reinigung und Desinfektion,
- Steuerungs- und Managementsysteme sowie
- Ver- und Entsorgungstechnik und Reinigungsanlage.

In Abbildung 18 sind die verschiedenen Baugruppen vollautomatischer Melkverfahren am Beispiel des Lely „Astronaut“ aufgezeigt.⁷⁵³

Abbildung 18: Grundfunktionen eines AMV (System Lely „Astronaut 1“)



Quelle: SCHÖN, H.; WENDEL, G.; PIRKELMANN, H. [Technik], S. 11.

⁷⁵³ Eigenschaften von Funktion und Technik, welche die Adoption von vollautomatischen Melkverfahren beeinflussen, werden im Kapitel 4.4 vertiefend dargestellt und diskutiert.

Technik und Funktion wichtiger Baugruppen

Bei der Darstellung der Baugruppen wird hier der Fokus auf die vier nachfolgend aufgeführten Funktionsbereiche gelegt. Die verschiedenen Bauformen, welche sich aus dem Aufbau der Melkbuchten und der jeweiligen Zuordnung von Melktechnik und Handhabungssystem ergeben, werden weiter unten besprochen. Auf eine Darlegung der Steuerungs- und Managementsysteme wird hier ebenso verzichtet wie auf die Beschreibung der Ver- und Entsorgungseinrichtungen. Diese dienen lediglich der Unterstützung des Betriebes eines AMV, stellen aber keine das System charakterisierenden Baugruppen dar.⁷⁵⁴

Technik des Handhabungssystems und Verfahren der Zitzenfindung

In vollautomatischen Melksystemen gelangen verschiedene Handhabungssysteme zum Einsatz.⁷⁵⁵ Sie ermöglichen das Aufnehmen des Melkbechers bzw. des Melkmodules, das Verbringen in den Arbeitsbereich, die Positionierung der Zitzenbecher sowie deren Ansetzen. Hierbei ist das schnelle Erreichen der Sollposition erforderlich, da sich die Raumkoordinaten der Zitze aufgrund der Bewegung des Tieres rasch ändern können. Zum Teil imitieren die Handhabungssysteme mittels des Aufbaues, bestehend aus Arm und Greifwerkzeug, das konventionelle Melken. Das Handhabungssystem kann entweder an der Melkbox fixiert (sowohl seitlich als auch im hinteren Teil der Melkbox angebrachte Systeme sind bekannt) oder neben der Melkbox platziert sein. Bei einer Platzierung neben der Melkbox ist ein Verfahren des Roboters auf Schienen neben der Melkbox zum Einsatz bei mehreren Melkeinheiten grundsätzlich möglich.⁷⁵⁶ Die Raumkoordinaten der Zitze werden von Sensorsystemen erfasst. Prozessrechner ermitteln aus den Koordinaten Sollgrößen für die Bewegung des Handhabungssystems. ARTMANN beschreibt die zum Einsatz gebrachten Verfahren zur Zitzenfindung als zweistufiges Messsystem.⁷⁵⁷ Im ersten Schritt erfolgt die Erfassung des Tieres in der Melkbox bzw. die Lage des Euters. Im zweiten Schritt erfolgt die genaue Bestimmung der Zitzenposition. Die

⁷⁵⁴ Steuerungs- und Managementsysteme bilden hier in soweit eine Ausnahme, dass sie für die Anwendung im vollautomatischen Milchentzug entwickelt bzw. weiterentwickelt wurden, und durch die Aufbereitung der anfallenden Daten Ablauf und Kontrolle des Gesamtsystems erst ermöglichen.

⁷⁵⁵ Vgl.: KONING, K. DE U.A. [automatic milking], S. I-1 – I-11

⁷⁵⁶ Vgl.: ROSSING, W.; HOGWERF, P. H. [automatic milking systems], S. 3–6.

⁷⁵⁷ ARTMANN gibt einen ausführlichen Überblick über die Sensorsysteme zur Zitzenfindung bei voll-

4 Adoption und Diffusion von AMV

Grobpositionierung erfolgt je nach System mittels Tastsensor, Laser, Kamera oder Ultraschall. Die Zitzenfeinfindung kann sowohl ohne Sensor (große Melkbecher), mit Sensoren im Zitzenbecher als auch mit Sensoren, welche in der Euterregion installiert sind, durchgeführt werden. Hier finden Ultraschall- und Lasersensoren sowie Lichtgitter Verwendung.

Verfahren zur Zitzen- und Euterreinigung

Unabdingbare Voraussetzung einer lebensmittel-hygienerechtlich einwandfreien Milchgewinnung ist, dass „(...) das Euter von Tieren, von denen Milch als Lebensmittel gewonnen wird, (..) zu Beginn des Melkens sauber (..)“ ist.⁷⁵⁸ Da jedoch zur Zeit keine Sensorsysteme zur Erfassung des äußerlichen Zustandes des Euters und der Euterregion des Tieres am Markt verfügbar sind,⁷⁵⁹ muss, um den gesetzlichen Anforderungen zu entsprechen, vor jedem Melkvorgang eine Reinigung von Euter und Zitze durchgeführt werden.⁷⁶⁰ Die dabei eingesetzten Systeme können in Verfahren zur Zitzenreinigung und Verfahren zur Euterreinigung unterteilt werden, wobei auch technische Lösungen, die beide Vorgänge in einem Arbeitsschritt durchführen, am Markt verfügbar sind.⁷⁶¹ Bei den kombinierten Euterreinigungsverfahren ist zum einen ein System mit zwei rotierenden kurzen Bürsten am Markt erhältlich, welche die Zitze umschließen. Die Reinigungsbürsten sind, aufgrund der notwendigen Positionsbestimmung der Zitzen, am Handhabungssystem befestigt. Bei einem zweiten System wird eine große Reinigungsbürste eingesetzt, welche auch weitere Teile des Euters erfasst. Diese kann, aufgrund der großflächigeren Reinigungswirkung, ohne das Handhabungssystem mittels einer groben Positionierung am Euter platziert werden. So ist die Euter- und Zitzenreinigung, unabhängig vom Handhabungssystem und des verbundenen Sensorsystems, für die exakte Positionsbestimmung der Zitzen auch in einer separaten Reinigungseinheit möglich. Reine Zitzenreinigungsverfahren werden prinzipiell vom Handhabungssystem an der Zitze positioniert. Bei den bekannten Verfahren wird die Reinigungswirkung durch den Einsatz von Druckluft und Wasser im Melkbecher bzw. einem separaten

automatischen Melkverfahren. Vgl.: ARTMANN, R. [Sensor systems], S. 26–38.

⁷⁵⁸ Vgl.: Anlage 3, Ziffer 2, Milchverordnung.

⁷⁵⁹ Dies betrifft sowohl die Feststellung des Hygienestatus des Tieres als auch die Unversehrtheit des Euters. So dürfen die Tiere „keine Wunden am Euter aufweisen, die die Milch verunreinigen könnten“. Vgl.: Anlage 1, Ziffer 1.4, MilchVO.

⁷⁶⁰ Vgl.: ARTMANN, R. [Sensor systems], S. 36.

⁷⁶¹ Vgl.: ARTMANN, R. [Technik], S. 22.

Reinigungsbecher erzielt.⁷⁶²

Merkmale der Melk- und Reinigungstechnik

Der Aufbau der beim vollautomatischen Milchentzug eingesetzten Melktechnik entspricht in den einzelnen Komponenten prinzipiell derjenigen konventioneller Melkanlagen.⁷⁶³ Jedoch erfordern vollautomatische Melkverfahren aufgrund des kontinuierlichen und mechanischen Prozesses der Milchgewinnung eine spezielle Ausprägung der Melkzeuge, der Milchführung sowie der Reinigung und Desinfektion der Anlage.⁷⁶⁴ Die speziellen Anforderungen an die Melktechnik ergeben sich aus der Notwendigkeit des mechanischen Ansetzens der Melkzeuge, der Trennung von Vor- und Hauptgemelk, der möglichen Erfassung der Viertelgemelke sowie der kontinuierlichen Beanspruchung der Technik und der daraus resultierenden Erfordernisse der regelmäßigen Reinigung und Desinfektion.⁷⁶⁵ Die Konstruktionsmerkmale der Melkzeuge müssen in einem AMV auf die Fähigkeiten des Handhabungssystems abgestimmt sein. Je nach Konzeption sind die Zitzenbecher zu Modulen zusammengefasst oder werden als Einzelbecher an den langen Milch- und Pulschläuchen gehandhabt.⁷⁶⁶ Die Abnahme des Zitzenbeckers erfolgt bei den seither vorgestellten Systemen mittels einer automatischen Einzelabnahme. Aufgrund rechtlicher Anforderungen⁷⁶⁷ müssen AMV über Vorrichtungen zur Milchqualitätskontrolle und -separation verfügen.⁷⁶⁸ Des Weiteren sind AMV systembedingt mit Einrichtungen zur Leistungserfassung der Tiere ausgestattet, welche im Falle einer nationalen und internationalen Anerkennung der Leistungsdaten den Anforderungen des International Committee for Animal Recording (ICAR) entsprechen müssen.⁷⁶⁹

⁷⁶² Vgl.: VEAUTHIER, G. [Überblick], S. 10–17.

⁷⁶³ Vgl.: HILLERTON, J. E. [Milking equipment], S. 41.

⁷⁶⁴ Vgl.: ARTMANN, R. [Technik], S. 24.

⁷⁶⁵ Vgl.: BRUCKMAIER, R.; MEYER, H. [Physiologische Anforderungen], S. 48 sowie WORSTORFF, H.; TRÖGER, F.; BARTH, K. [Melktechnische Anforderungen], S. 53.

⁷⁶⁶ Vgl.: ARTMANN, R. [Automatisches Melken], S. 115.

⁷⁶⁷ Diese Anforderungen beziehen sich auf die Gewinnung und Behandlung von Rohmilch sowie die Erlaubnis der Inverkehrbringung der Milch als Lebensmittel nach den §§ 3 und 18 MilchVO.

⁷⁶⁸ Diese ermöglichen eine Absonderung der ersten Milchstrahlen sowie eine Separation von Milch, die nicht in den Verkehr gebracht werden darf.

⁷⁶⁹ Die Durchführung der Milchleistungs- und Qualitätsprüfung in den ICAR-Mitgliedsländern richtet sich nach den jeweiligen ICAR-Guidelines, welche in Deutschland durch die „Empfehlungen und Richtlinien zur Durchführung der Milchleistungs- und Qualitätsprüfung“ der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V. (ADR) national umgesetzt werden. Vgl.: JÜRGENS, H.; ORDOLFF, D.; FÖRSTER, M. [Milchleistungsprüfungen], S. 64.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Die Ansprüche an die Reinigungs- und Desinfektionsleistung der milchführenden Bauteile von vollautomatisierten Melkverfahren ergeben sich aus den allgemeingültigen Forderungen nach der Sicherstellung einer höchst möglichen Milchqualität sowie aus den spezifischen Einsatzbedingungen vollautomatisierter Melkverfahren.⁷⁷⁰ Aufgrund des kontinuierlichen Melkprozesses ist es notwendig, die Hauptreinigungen des Systems öfter als bei konventionellen Melkverfahren durchzuführen. So werden die Hauptreinigungen hier in der Regel dreimal in vierundzwanzig Stunden durchgeführt. Zusätzlich werden Zwischenreinigungen der Melkeinheit sowie des Melkzeuges vorgenommen.⁷⁷¹ Die Reinigungs- und Desinfektionstechnik vollautomatisierter Melkverfahren besteht somit aus einem System zur Reinigung der Gesamtanlage, einer technischen Lösung zur Zwischenreinigung der milchführenden Teile bis einschließlich Recorder und Milchpumpe sowie einem System zur Zwischendesinfektion des Melkzeugs. Vor allem die Möglichkeit einer Zwischenreinigung ist bei AMV systembedingt obligatorisch. Sie setzt neben einer festen periodischen Aktivierung dann ein, wenn zum einen die Intervalle zwischen den einzelnen Melkungen einen definierten Zeitraum überschreiten und demzufolge die Gefahr der Austrocknung von Milchrückständen in der Anlage besteht.⁷⁷² Zum anderen wird eine Zwischenreinigung nach der Abtrennung abnormer Milch durchgeführt und damit den rechtlichen Anforderungen der MilchVO dahingehend entsprochen, dass nicht verkehrsfähige Milch abgesondert wird.⁷⁷³

Auch kann die Kühltechnik für die gewonnene Milch der Melktechnik des AMV zugerechnet werden. Eine neben dem Stapelgefäß zusätzliche Vorkühleinrichtung stellt aber keine notwendige Ausstattung eines AMV dar, wenn die Milch zeitnah der ausreichend gekühlten Milchlagerung zugeführt wird. Da der vollautomatische Milchentzug ein kontinuierliches Verfahren darstellt, müssen auch Milchkühlung und -lagerung sowie das Reinigungssystem des Stapelgefäßes an ein fortlaufendes Verfahren adaptiert werden.⁷⁷⁴

⁷⁷⁰ Vgl.: SCHUILING, H. J. u.a. [Optimal cleaning], S. 1.

⁷⁷¹ Vgl.: ORDOLFF, D. [Qualitätsmanagement], S. 84 sowie HOGVEEN, H. U.A. [Reinigung], S. 19–20.

⁷⁷² Vgl.: SCHUILING, H. J. u.a. [Optimal cleaning], S. 2.

⁷⁷³ Anlage 3, Ziffer 4 MilchVO.

⁷⁷⁴ Zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Betriebs der Anlage sind verschiedene technische Lösungen zur Förderung des frischen Gemelkes, zur Milchlagerung und -kühlung in der Literatur beschrieben. Vgl.: ORDOLFF, D. [Qualitätsmanagement], S. 81–84; DE KONING u.a. [Milk cooling systems], S. V-25–V-35; WOLTERS, G. M. u.a. [Cooling and storage requirements], S. 47–55 sowie beispielhaft zum Energie- und Wasserverbrauch MINDERMAN, J. S. u.a. [Cooling systems],

Verfahren der Milchqualitätsbestimmung

Der Einsatz vollautomatisierter Melkverfahren macht es erforderlich, die rechtlich vorgesehene visuelle Bewertung der ersten Milchstrahlen⁷⁷⁵ (Vorgemelk) durch technische Maßnahmen gleicher Leistungsfähigkeit zu ersetzen.⁷⁷⁶ Die zum Einsatz kommenden technischen Verfahren müssen somit in der Lage sein, den physiologischen Zustand des Gemelks sicher zu bestimmen und anzuzeigen sowie Aufschluss über den Gesundheitsstatus des Tieres zugeben. Hierzu sind verschiedene Verfahren entwickelt und beschrieben worden. Ein Typ von Sensoren erfasst die physikalischen Eigenschaften der Milch auf der Basis verschiedener Verfahren zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit, der Lichtabsorption oder -reflexion, der Viskosität und der Milchtemperatur oder basiert auf dem Einsatz von Ultraschall.⁷⁷⁷ Andere Verfahren, so die Infrarot-Thermographie, verzichten auf die Messung im Milchweg. Bei letztgenanntem Verfahren wird eine erhöhte Oberflächentemperatur des Euters als Symptom für Eutergesundheitsstörungen bewertet. Als Standard-Messmethode wird bei vollautomatisierten Melkverfahren die elektrische Leitfähigkeit der Milch zur Bestimmung ihrer lebensmittelrechtlichen Eigenschaften und somit des Gesundheitszustandes des Tieres verwendet.⁷⁷⁸ Dabei wird bei den einzelnen AMV in der Regel eine Messung pro Euterviertel in Vor- und Hauptgemelk durchgeführt.⁷⁷⁹

Allen Verfahren ist gemein, dass sie lediglich eine indirekte Bestimmung des Gesundheitszustandes des Euters sowie des Allgemeinzustandes des Tieres erlauben. Die Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit der Milch gilt dabei als ein wenig

S. 64.

⁷⁷⁵ Vgl.: Anlage 3, Ziffer 3.3 MilchVO.

⁷⁷⁶ Vgl.: KNAPPSTEIN, K.; REICHMUTH, J. [Detection of clinical mastitis], S. 116f.

⁷⁷⁷ Vgl.: ORDOLFF, D. [Bewertung von Vorgemelken], S. 218, BARTH, K. [Eutergesundheitskontrolle bei Milchkühen], S. 224 sowie TSENKOVA, R. N. u.a. [Near-Infrared Spectroscopy], S. 82f.

⁷⁷⁸ Die Temperatur-basierten Messverfahren beruhen darauf, dass bei klinisch kranken Kühen eine abnorme Erwärmung der Euterhaut vorliegt.

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Gemelks als Verfahren zur Identifikation erkrankter Tiere bzw. abnormer Milch fußt auf der Feststellung, dass bei klinisch kranken Kühen i. d. R. signifikant veränderte physikalische und chemische Eigenschaften der Milch vorliegen. So ist die Konzentration von Elektrolyten im Milchsekret erkrankter Tiere erhöht, da die Funktion der Alveolar-Zellen gestört ist, sodass ein stärkerer Ionenaustausch zwischen Blut und Milch stattfinden kann. Vgl.: BRAMLEY, A. J. [Mastitis], S. 343–347.

⁷⁷⁹ Zur Bedeutung einer auf das Euterviertel bezogenen Prozesskontrolle bei der Milchgewinnung vgl.: UMSTÄTTER, C.; KAUFMANN, O. [Prozesskontrolle], S. 230.

zuverlässiger Indikator zur Erfassung von Euter- und Tiererkrankung.⁷⁸⁰

4.3.2.2 BAUFORMEN MARKTGÄNGIGER AUTOMATISCHER MELKVERFAHREN

Für die Bauform von vollautomatisierten Melkverfahren werden Konzepte genutzt, die zwischen den Herstellern zum Teil erhebliche Unterschiede in den Konstruktions- und Leistungseigenschaften aufweisen.

Mögliche Bauformen vollautomatisierter Melkverfahren

Vollautomatische Melkverfahren lassen sich aufgrund der Zuordnung des Handhabungssystems zur Melkeinheit grundsätzlich in zwei verschiedene Bauformen, Einbox- oder Kompaktanlagen sowie Mehrboxanlagen, einteilen.⁷⁸¹ Diese zeichnen sich durch unterschiedliche Merkmale vor allem in Bezug auf die Investitionshöhe und die Integration im Stallgebäude sowie in Funktion und Betrieb aus. Aufgrund der unterschiedlichen Konzeptionen ist der Tierverkehr (Umtrieb der Kühe) durch die Bauform des AMV stark beeinflusst.⁷⁸² Die möglichen Bauformen von vollautomatisierten Melkverfahren sind in Abbildung 19 dargestellt.

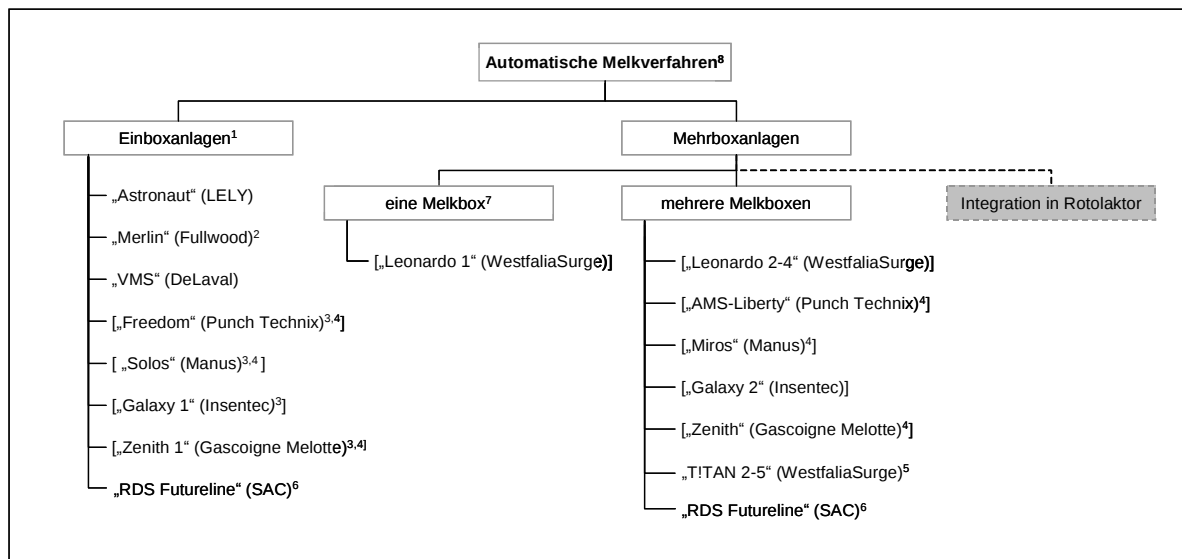
⁷⁸⁰ Zur Eutergesundheit, speziell zur bovinen Mastitis, wurden eine Vielzahl von Arbeiten vorgelegt. Exemplarisch sei hier auf die Veröffentlichungen des NATIONAL MASTITIS COUNCIL verwiesen. Vgl.: NATIONAL MASTITIS COUNCIL [Proceedings].

⁷⁸¹ Vgl.: ARTMANN, R. [Automatisches Melken], S. 18ff.

⁷⁸² Vgl.: SCHÖN, H.; WENDEL, G.; PIRKELMANN, H. [Technik], S. 14ff.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Abbildung 19: Bauformen bisher in der Praxis eingeführter automatischer Melkverfahren nach Herstellern



¹Die der Kategorie „Einboxanlagen“ zugeordneten AMV-Typen umfassen sowohl Einbox-Kompaktanlagen sowie die bei der Nutzung eines einzigen Handhabungssystems auf mehrere Melkboxen erweiterungsfähigen Anlagen.

²Das AMV stellt eine Lizenzfertigung auf Basis des Lely „Astronaut“ dar.

³Die aufgeführten Anlagen sind zu Mehrboxanlagen erweiterbar.

⁴Die AMV basieren auf der Anlagentechnik von Punch Technix N.V. (ehemals Prolion Holding N.V.)

⁵Die AMV basieren auf der Lizenzfertigung der AMV der Punch Graphix N.V. (ehemals Prolion Holding N.V.). Auf Basis des RDS Futureline besteht zudem ein Konzept zum mobilen Robotereinsatz im Weidebetrieb.

⁶Die AMV stellen eine Weiterentwicklung der „Galaxy“-Anlagen dar.

⁷Anlagen dieses AMV-Typs bestehen aus einer Reinigungs- und einer Tandemmelkbox.

⁸Die in „[...]“ gesetzten AMV-Typen sind derzeit nicht (mehr) am Markt verfügbar. Produktion bzw. Vertrieb wurden eingestellt.

Die Darstellung umfasst ausschließlich die bisher am Markt eingeführten AMV-Typen. Konzepte die nicht zur Marktreife gelangten, sind ebenso nicht berücksichtigt wie Systeme, deren Markteinführung noch zu erwarten ist.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BOHLSSEN, E.; ARTMANN, R. [Erprobung Automatischer Melksysteme], S. 263, SCHÖN, H.; WENDEL, G; PIRKELMANN, H. [Automatisches Melken], S. 12, KUTSCHENREITER, W. [Markt], S. 78; O. V. [weltweite Melkroboter-Lizenz]; O. V. [SAC] und VEAUTHIER, G. [Überblick], S. 10–17.

Einbox- oder Kompaktanlagen sind pro Melkbox mit einem fest an oder neben der Melkbox installierten sogenannten Roboterarm (Handhabungssystem) ausgestattet.⁷⁸³ So ist jeder Melkeinheit (Box) ein Handhabungssystem fest zugeordnet. Die bisher auf dem Markt eingeführten Systeme können grundsätzlich dezentral im Stallgebäude aufgestellt werden und sind für eine Gruppe von bis zu 60 laktierenden Kühen ausgelegt.⁷⁸⁴ Ein Nachteil sind hier jedoch die im Gegensatz zu den Mehrboxanlagen höheren Investitionskosten für größere Herden, da die teuren Systemkomponenten (Roboterarm und Sensortechnik) für jede Box einzeln beschafft werden müssen. Vorteile ergeben sich bei dieser Bauform vor allem bei großen Stallgebäuden in der Gestaltung des Kuhverkehrs aufgrund der besseren Möglichkeit einer dezentralen Platzierung.⁷⁸⁵

Mehrboxanlagen bestehen aus mehreren, in Reihe angeordneten Melkboxen, die die Gestalt eines offenen Tandemmelkstandes haben. Dieses System ermöglicht eine Bedienung mehrerer Melkboxen durch ein Handhabungssystem (Roboterarm).⁷⁸⁶ Somit ist eine effizientere Auslastung der teuren Systemkomponenten möglich. Infolgedessen können bei der Installation einer entsprechenden Boxenanzahl gerade für größere Herden Investitionsvorteile gegenüber Einboxanlagen entstehen.⁷⁸⁷ Eine vorgeschaltete Selektions- und Reinigungseinheit ist bei dieser Konzeption, wie in Abbildung 19 dargestellt, zum Teil vorgesehen. Dem Vorteil der tendenziell geringeren Investitionskosten steht jedoch der Nachteil gegenüber, dass diese Anlagen nicht dezentral im Stallgebäude installiert werden können. Dadurch wird die optimale Gestaltung des Tierverkehrs erschwert.⁷⁸⁸

Die Automatisierung der Melkarbeit in *Rotolaktoren* (Karussellmelkständen) stellt eine weitere technische Lösung dar, wird aber zurzeit noch nicht auf dem Markt angeboten. Hier werden aufgrund der noch zu langen Zeiten für das Positionieren, die Euterreinigung und das Ansetzen des Melkzeuges derzeit noch keine befriedigenden Leistungen erreicht.⁷⁸⁹ Bei einer Ablauforganisation mit festen Melkzeiten

⁷⁸³ Vgl.: ARTMANN, R. [Automatisches Melken], S. 113.

⁷⁸⁴ Vgl.: HEIN, K. [Melkroboter im Praxiseinsatz], S. 50.

⁷⁸⁵ Vgl.: SCHLEITZER, G. [Funktionsweise], S. 71ff.

⁷⁸⁶ Vgl.: HEIN, K. [Melkroboter im Praxiseinsatz], S. 50.

⁷⁸⁷ Vgl.: STOCKINGER, C.; WEIß, A. [Stand der Technik], S. 60–64.

⁷⁸⁸ Vgl.: ARTMANN, R. [Automatisches Melken], S. 115.

⁷⁸⁹ Vgl.: SCHÖN, H.; WENDEL, G.; PIRKELMANN, H. [Automatisches Melken], S. 12.

4 Adoption und Diffusion von AMV

und einem kontinuierlichen Betrieb würde diese technische Lösung, gerade für im Schichtbetrieb arbeitende Betriebe, deutliche Einsparpotentiale bei den Lohnkosten aufzeigen. Hier ist es prinzipiell möglich, eine Trennung der Verfahrensschritte vorzunehmen. So könnte dem Karussell eine Vorbereitungsbox vorgelagert werden. Mit dem Einbau von Ansetzhilfen würde eine Teilautomatisierung erreicht werden, mit deren Hilfe der Durchsatz erhöht und das Melkpersonal körperlich entlastet werden könnte.⁷⁹⁰ Auch die Investitionskosten pro Stallplatz könnten hier aufgrund des zu erwartenden deutlich höheren Durchsatzes für den Großbetrieb deutlich geringer ausfallen als bei der Beschaffung von Anlagen der beiden anderen Systemkonzeptionen.⁷⁹¹

Hersteller von vollautomatisierten Melkverfahren

Die Entwicklung eines mehrboxigen AMV mit bis zu vier Melkboxen wurde in den Niederlanden unter der Federführung von Vicon mit den Unternehmen Nedap und Philips in Zusammenarbeit mit dem heutigen Instituut voor Milieu- en Agrartechniek (IMAG DLO) sowie dem Nederlands-Rundvee-Syndicaat (NRS) im Rahmen des Projektes *Boerderij-2000* (B2000) in Angriff genommen.⁷⁹² Im Jahre 1997 kam es zur Vorstellung eines Prototyps. Das Unternehmen Vicon zog sich jedoch 1990 aufgrund hoher finanzieller Belastungen, welche durch unvorhergesehene große technische Probleme bei der Implementierung des Gerätes in die landwirtschaftliche Praxis hervorgerufen wurden, aus dem Projekt zurück. Zeitgleich wurde die erste Anlage in einem Versuchsbetrieb installiert.⁷⁹³ Seit 1992 wird das System in der Praxis eingeführt.⁷⁹⁴ Das AMV wurde fortan von der Robot Milking Solutions International B.V. (RMS) sowie der ehemaligen Prolion Holding N.V. weiterentwickelt und vermarktet.⁷⁹⁵ Diese Aktivitäten sind in der heutigen Punch Graphix N.V.

⁷⁹⁰ Vgl.: HEIN, K. [Melkroboter im Praxiseinsatz], S. 51.

⁷⁹¹ Vgl.: SCHLEITZER, G. [Einsatzmöglichkeit], S. 65ff.

⁷⁹² Patent EP 213 660 (Veröffentlichung: 16. Mai 1990; Anmelder MULTINORM B.V.) für eine automatische Melkeinrichtung. TORSIUS, A. [Milking apparatus]. Die Ansprüche betreffend das automatische Melkverfahren sind weiterhin veröffentlicht inter alia als Patent US 4 889 074 (Veröffentlichung: 26. Dezember 1989; Anmelder: MULTINORM B.V.). VERBRUGGE, J. K.; AURIK, E. A. [Movable accommodation]. Über den Schutz der eigentlichen Melkeinrichtung hinaus bestehen umfangreiche internationale Patentansprüche des Unternehmens bzgl. einzelner Aspekte des automatisierten Melkens.

⁷⁹³ Vgl.: ROSSING, W.; IPEMA, A. H. [Melkroboter], S. R8-R11.

⁷⁹⁴ Die Arbeiten wurden ab 1991 von der Entwicklungsgesellschaft Prolion Development weiter fortgeführt. Vgl.: ECKL, J. [Melkroboter], S. 63 f.

⁷⁹⁵ Vgl.: o. V. [Punch Technix].

4 Adoption und Diffusion von AMV

aufgegangen, die mit Wirkung zum 1. September 2007 die weltweite Lizenz für das AMV RMS-Titan sowie den gesamten Geschäftsbereich für automatisierte Melkverfahren an die WestfaliaSurge GmbH abgegeben hat.⁷⁹⁶ Die Vermarktung der technischen Grundkonzeption erfolgte seither unter den Marken AMS Liberty und Gascoigne Melotte sowie als weiterentwickelte Mehrboxanlage unter dem Markennamen RMS Titan (diese Mehrboxanlage kann bis zu fünf in Reihe angeordnete Melkeinheiten umfassen).⁷⁹⁷ Die Manus Holland B.V., welche ebenfalls ein auf der Technologie von Prolion basierendes AMV vertrieben hat, hat sich 2004 vom Markt für automatische Melkverfahren zurückgezogen.⁷⁹⁸ Eine eigenständige Entwicklung betrieb zunächst auch Gascoigne Melotte.⁷⁹⁹ Erste Praxisversuche wurden mit einem Prototypen ab 1988 durchgeführt.⁸⁰⁰ Derzeit ist jedoch keine direkte Weiterentwicklung dieses Konzeptes als praxisreife Lösung am Markt erhältlich. Die unter der Marke Gascoigne Melotte vertriebenen und heute am Markt nicht mehr erhältlichen Geräte basieren auf der Technik von Prolion (seither Punch Technix B.V.).

Das AMV Astronaut des niederländischen Herstellers Lely⁸⁰¹ wurde erstmals 1995 der Öffentlichkeit vorgestellt. Die ersten Anlagen wurden jedoch bereits seit 1992 in niederländischen Praxisbetrieben installiert.⁸⁰² Nach mehreren technischen Verbesserungen am bestehenden Konzept stellte Lely Ende 2005 mit dem Astronaut A3 eine grundlegend überarbeitete Version des bisherigen Systems vor.⁸⁰³ Neben der Verwendung im unternehmenseigenen AMV Astronaut kommen die Systemkomponenten zur Steuerung und Durchführung des automatischen Melkvorganges auf der Basis einer Lizenzvereinbarung mit der Fullwood Ltd. auch in den Geräten dieses Herstellers zur Anwendung.⁸⁰⁴ Auch beabsichtigte der US-Hersteller Bou-

⁷⁹⁶ Vgl.: o. V. [weltweite Melkroboter-Lizenz].

⁷⁹⁷ Vgl.: o. V. [Nieuwe Melkrobot] sowie o. V. [RMS], S. 1f.

⁷⁹⁸ Vgl.: o. V.: [Sales].

⁷⁹⁹ Patent veröffentlicht inter alia als WO 85 02973 (Veröffentlichung: 18. Juli 1985; Anmelder: GASCOIGNE MELOTTE B.V.). MIDDEL, R. G.; OENEM, R. [Automatic apply].

⁸⁰⁰ Vgl.: ROSSING, W.; HOGEWERF, P. H. [automatic milking systems], S. 9ff.

⁸⁰¹ Patent EP 0 332 229 (Erstveröffentlichung: 13. September 1989; Anmelder: C. VAN DER LELY N.V.). VAN DER LELY, C. [Gerät zum Melken], S. 1.

⁸⁰² Die öffentliche Vorstellung erfolgte anlässlich der Fachaussstellungen RAI (Amsterdam) und Agri-technika (Hannover). Vgl.: PAHLKE, M. [Astronaut], S. 108-113.

⁸⁰³ Vgl.: o. V. [New Astronaut].

⁸⁰⁴ Vgl.: o. V.: [Melkverfahren], S. 11.

Das von der britischen Fullwood Packo Gruppe unter dem Markennamen Fullwood vertriebene einboxige vollautomatisierte Melkverfahren „Merlin“ stellt in den wesentlichen AMV-Komponenten eine Lizenzfertigung des Lely Astronauts dar.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Matic LLC, auf der Basis einer Lizenzvereinbarung die Technik des Lely Astronaut zur Entwicklung eigener AMV-Modelle zu nutzen. Entsprechende Ansätze sind seither jedoch nicht über das Versuchsstadium hinaus weiterverfolgt worden.⁸⁰⁵

Das auf Futterernte- und Bodenbearbeitungstechnik spezialisierte Unternehmen Lely stellt keinen klassischen Melktechnikhersteller dar. Vielmehr versucht es, durch das frühzeitige Erkennen von Markttrends Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in die Generierung innovativer Produkte zu lenken, um so in neuen Märkten Pionier- bzw. Monopolgewinne zu erzielen.

In Deutschland entwickelte der Landtechnikhersteller Düvelsdorf, ebenfalls kein herkömmlicher Melktechnikproduzent, einen Melkautomaten,⁸⁰⁶ der 1989 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde.⁸⁰⁷ Das Mehrboxsystem war seit 1989 als Prototyp im Einsatz. In den Jahren 1990 und 1991 wurden mit einem Prototyp praktische Versuche auf dem Versuchsgut Schaedtбек des Institutes für Milcherzeugung der Bundesanstalt für Milchforschung (Kiel) durchgeführt.⁸⁰⁸ Das Prinzip beruht auf der Verwendung eines kartesischen Industrie-Roboters (x-, y- und z-Achse), wobei der Arbeitsraum entlang einer Schubachse auf bis zu vier Melkboxen erweitert werden konnte.⁸⁰⁹ 1996 wurde das System von der heutigen WestfaliaSurge GmbH übernommen. Zum Zeitpunkt der Vorstellung des weiterentwickelten Konzeptes im Jahre 1998 waren bereits vier Anlagen in Praxisbetrieben installiert. Aufgrund von Mängeln in der technischen⁸¹⁰ und grundsätzlichen konzeptionellen Gestaltung des bisherigen mehrboxigen Systems Leonardo stellte das Unternehmen 2002 ein grundlegend neues AMV-Konzept (Leonardo II) auf der Basis eines Vertikal-Knickarmroboters vor.⁸¹¹ Als Folge einer Neubewertung der möglichen Chancen und Risiken bzgl. eines weiteren Engagements des Unternehmens in der Entwicklung von AMV zog sich die WestfaliaSurge GmbH 2004 vom Markt für vollautoma-

⁸⁰⁵ Vgl.: KUTSCHENREITER, W. [Markt], S. 79.

⁸⁰⁶ Patent EP 0 300 115 (Veröffentlichung: 06. April 1994; Anmelder: DÜVELSDORF & SOHN GMBH & CO. KG). DÜVELSDORF, A.; DÜCK, M. [Verfahren]. Im Zusammenhang mit der genannten Patentschrift steht das Patent DE 37 02 465 (Veröffentlichung: 11. August 1988; Anmelder DÜVELSDORF & SOHN GMBH & CO. KG). DÜVELSDORF, A.; DÜCK, M. [Vorrichtungen].

⁸⁰⁷ Ausstellung Tier & Technik, Frankfurt. Vgl.: ACHLER, B. [Tüftler], S. R6-R7.

⁸⁰⁸ Vgl.: KREMER, J. H. [Milchentzug].

⁸⁰⁹ Vgl.: SCHÖN, H.; ARTMANN, R.; SCHLÜNSEN, D. [Produktionssteuerung in der Milchviehhaltung], S. 208.

⁸¹⁰ Ein grundsätzlicher Nachteil kartesischer Roboter liegt in einer niedrigen Arbeitsgeschwindigkeit sowie darin, dass der Arbeitsbereich innerhalb der Roboterabmessung liegt.

⁸¹¹ Vgl.: o. V. [Zukunft].

4 Adoption und Diffusion von AMV

tisierte Melkverfahren zurück.⁸¹² Entgegen dieser Entscheidung versucht das Unternehmen derzeit mittels der Übernahme der weltweiten Lizenzvereinbarung mit der Punch Graphix N.V. für das AMV Titan wiederum einen Einstieg in den Markt für vollautomatisierte Melkverfahren unter dem neuen Markennamen „T!TAN“.⁸¹³

Das Unternehmen DeLaval International AB stellte 1998 eine Einboxanlage unter der Bezeichnung Voluntary Milking System (VMS) vor,⁸¹⁴ das auf der Weiterentwicklung eines automatischen Melkverfahrens des Silsoe Research Institute (SRI) beruht⁸¹⁵. Das Ansetzen der Melkbecher bzw. des Reinigungsbeckers geschieht bei diesem System mittels eines Multifunktionsarmes. Aufgrund des technischen Layouts der Einboxanlage, insbesondere der Zuordnung des Roboters zur Melkbox, erscheint eine Erweiterung der Anlage um eine zweite, parallel angeordnete Melkeinheit konzeptionell grundsätzlich denkbar.

Diese grundsätzliche Einsatzerweiterung besteht auch für das von der Insentec B.V. vorgestellte AMV Galaxy.⁸¹⁶ Das 2000 erstmals in der Praxis getestete Verfahren basiert auf einem Standard-Industrieroboter, der mit speziellen Sensor- und Handhabungskomponenten für den vollautomatischen Milchentzug ausgestattet ist.⁸¹⁷ Der Roboter kann bei diesem System sowohl ortsfest als auch auf Schienen verfahrbar neben der Melkbox installiert werden. Diese Anordnung ermöglicht die Bedienung mehrerer Melkboxen, die sowohl in Serie, parallel als auch in einer anderen Relation installiert werden können. Im Praxiseinsatz werden bisher i. d. R. bis zu zwei Melkboxen bedient.⁸¹⁸ Nach der Übernahme der HokoFarm Beheer

⁸¹² WestfaliaSurge führt in einer Pressemitteilung an, dass der Einsatz vollautomatisierter Melkverfahren generell eine Kostensteigerung in der Milchproduktion von 10% bis 15% hervorrufen würde. Da somit die gestellten ökonomischen Ziele an einen AMV-Einsatz seither nicht erreicht werden konnten, schätzt das Unternehmen die zukünftige Marktentwicklung sehr verhalten ein mit der Folge, die bisherigen AMV-Aktivitäten nicht weiter fortzuführen. Vgl.: o. V. [AMS].

⁸¹³ Mit der Übernahme der weltweiten Lizenz für das AMV Titan (Submarke „T!TAN“ unter der Dachmarke WestfaliaSurge) übernahm die WestfaliaSurge GmbH zudem mit Datum 1. September 2007 alle bestehenden Kaufverträge sowie Teilbereiche der bisherigen Vertriebs- und Serviceorganisation von Punch Graphix N.V. Vgl.: o. V. [weltweite Melkroboter-Lizenz].

⁸¹⁴ Vgl.: o. V. [Alfa-Laval], S. R2.

⁸¹⁵ Veröffentlichung inter alia als Patent EP 0 452 381 (Veröffentlichung: 22. Dezember 1993; Anmelder: BRITISH TECHNOLOGY GROUP LTD.). STREET, M. J. u.a. [Melken].

⁸¹⁶ Das Unternehmen Insentec B.V. gehört neben den beiden Schwesterunternehmen Idento B.V. und Galaxy B.V. zur Holding HoKoFram Beheer B.V. Die Unternehmensgruppe ist spezialisiert auf die Automatisierung von Tierhaltungsverfahren, engagierte sich jedoch seither nicht in der Herstellung von Melksystemen.

⁸¹⁷ Vgl.: KOCHAN, A. [Robots], S. 396f.

⁸¹⁸ Vgl.: o. V. [Produktinformation Galaxy].

4 Adoption und Diffusion von AMV

B.V. durch die S/A S. A. Christensen & Co. (SAC) wird die Anlagen-Konzeption unter neuer industrieller Verantwortung als „RDS Futureline“ weiterentwickelt und vertrieben.⁸¹⁹ Auf Basis des „RDS Futureline“ ist zudem ein mobiles AMV für den Weidebetrieb erhältlich.⁸²⁰

Insgesamt zeigt die technische Entwicklung von vollautomatisierten Melkverfahren eine Entwicklung hin zur Nutzung von Standard-Industrierobotern als Ansetzhilfen im Milchentzug. Beispiele hierfür sind der Futureline-Roboter von SAC sowie die Studie Leonardo II von WestfaliaSurge. Beide Konzepte basieren auf dem Einsatz von Vertikal-Knickarmrobotern.⁸²¹ Die Vorteile des Einsatzes dieser in der industriellen Praxis bewährten Technik liegen zum einen in der Verwendung von Standard-Bauteilen und -Aggregaten. So eröffnet der Einsatz von Standard-Industrierobotern sowohl die direkte Teilhabe an technischen Fortschritten im Bereich der Investitionsgüterindustrie als auch die Möglichkeit zur Kostenreduktion aufgrund der intensiven Nutzung von Skaleneffekten bei der Fertigung der Geräte und Komponenten.⁸²² Zum anderen zeichnet sich diese Roboterbauweise durch ein geringes Störvolumen sowie durch die Möglichkeit des Umgreifens von Hindernissen aus, wodurch bei dieser Bauart ein universeller Einsatz möglich ist. Aufgrund der vorhandenen Bewegungsachsen der Vertikal-Knickarmroboter (Haupt- und Nebenachsen incl. der Kopf- und Handachsen) lassen sich alle sechs Freiheitsgrade (f) im Raum einstellen. Als Ziel der generellen technischen Entwicklung im Bereich der AMV kann die Nachstellung der Einsatzmöglichkeiten der menschlichen Hand angesehen werden.⁸²³ Von den bisher eingeführten Systemen griff das von DeLaval zur Praxisreife weiterentwickelte Konzept von STREET U. A.⁸²⁴ diese Überlegungen – neben den Konstruktionen, die auf dem Einsatz von Vertikal-Knickarmrobotern beruhen - am konsequentesten auf. Im Hinblick auf die weitere

⁸¹⁹ Vgl.: o. V. [SAC].

⁸²⁰ Vgl.: o. V. [Welterpremiere].

⁸²¹ Zur Definition von Industrierobotern siehe VDI-Richtlinie 2860. Vgl.: VDI [2860]

⁸²² Nach Schätzung der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) sowie der International Federation of Robotics (IFR) waren Ende 2004 ca. 120.000 Industrieroboter in Deutschland im Einsatz. Vgl.: UNECE/ IFR [World Robotics 2004], S. 5.

⁸²³ Für im dreidimensionalen Raum frei bewegliche Objekte gilt der Freiheitsgrad $f = 6$ (3 Translationen und 3 Rotationen). Um einen Freiheitsgrad $f = 6$ für den Effektor eines Roboters zu erreichen, sind mindestens $F = 6$ Bewegungsachsen notwendig. Hinzu kommt bei nicht ortsfesten Anlagen, z. B. auf Schienen verfahrbare Roboter, die Translation auf der Bodenfläche. Zu Einsatz und Gestaltung von Industrierobotern vgl.: WEBER, W. [Industrieroboter].

⁸²⁴ Vgl.: ROSSING, W.; HOGEWERF, P. H. [automatic milking systems], S. 1f.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Entwicklung von vollautomatischen Melkverfahren eröffnet die Fähigkeit zur Handhabung einzelner Zitzenbecher - im Gegensatz zu Modulaggregaten - sowie die konstruktionsbedingte Trennung von Roboter und Melktechnik die grundsätzliche Möglichkeit zur Vollautomatisierung von Melkständen und Rotolaktoren.

4.4 Einflussfaktoren auf die AMV-Adoption

4.4.1 AMV-Adoption unter komplexen Rahmenbedingungen

Aufgrund vielfältiger Faktorbeeinflussungen bzw. -beanspruchungen stellt der Einsatz vollautomatischer Melkverfahren einen erheblichen Eingriff in das betriebliche Wirkungsgefüge milcherzeugender Betriebe dar. Die physische und zeitliche Entlastung des Melkpersonals stellt dabei nur einen Aspekt in der Veränderung des Produktionsprozess dar. Vielmehr bedeutet der Einsatz eines AMV die Implementierung eines gänzlich neuen Produktions- und Managementsystems, was weit über das Ersetzen einer technischen Anlage durch eine andere hinausgeht. Der Investitionsschritt hin zu einem AMV führt nicht nur zu einem neuen Verfahren des Milchentzugs. Die systembedingte Umgestaltung bei einem Übergang zum vollautomatischen Milchentzug umfasst alle wesentlichen Input- und Outputfaktoren der Milcherzeugung sowie der betrieblichen Produktionsabläufe. So wird der Einsatz eines AMV von nachfolgenden Parametern maßgeblich determiniert:⁸²⁵

(1) Rechtliche Rahmenbedingungen

(2) Technikbezogene Faktoren

Insbesondere Tierdurchsatz bzw. Melkleistung, Betriebskosten, Betriebssicherheit, AK-Beanspruchung;

(3) Sozio-ökonomischen Faktoren

Insbesondere Unternehmensstrategie, soziales Umfeld, Zeitmanagement sowie Ausstattung mit und Qualität des Human-Capital;

(4) Betriebliche Faktoren

Insbesondere Herdengröße, Stallsystem und betriebliche Diversifikation;

⁸²⁵ Vgl.: TRILK, J. [Erfahrungen], S. 42-61.

4 Adoption und Diffusion von AMV

(5) Tierbiologische Faktoren

Insbesondere Tierrasse, biologische Leistung, Melk- und Tierverhalten;

(6) Ökonomischen Faktoren

Insbesondere Anschaffungs-, Finanzierungs-, Umstellungs- und Betriebskosten sowie im Gesamteffekt die Stückkosten pro kg Milch.

Die aufgrund der Bewertung der Veränderung dieser Faktoren und Rahmenbedingungen entstehenden betriebsindividuellen Anpassungskosten führen zu einem unterschiedlichen Adoptionsverhalten, welches sich bis hin zu einer individuellen Nichtübernahme vollautomatisierter Melkverfahren äußern kann.

Der Entscheidungsprozess in der Adoption von AMV ist geprägt von Unsicherheit und Überlegungen zur weiteren dynamischen Entwicklung der Einsatzbedingungen der Technik. Die Unsicherheit bezieht sich dabei nicht nur auf die mögliche Weiterentwicklung der AMV-Technik selbst sondern vielmehr auf die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Milchproduktion. Durch die eingeleiteten wie auch die weiterhin zu erwartenden Reformen der Gemeinsamen Marktorganisation für Milch im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) sowie die damit verbundene zunehmende Liberalisierung des Milchmarktes ist zum einen aufgrund des geplanten Wegfalls der staatlichen Mengensteuerung (Referenzmengenregelung) eine deutliche Flexibilisierung der betrieblichen Entwicklung, verbundenen mit geringeren Wachstumskosten, zu erwarten. Zum anderen wird jedoch, bedingt durch den zu erwartenden größeren Einfluss der weltweiten Preis- und Mengenschwankungen auf den hiesigen Milchmarkt eine höhere Unsicherheit betreffend der zu erzielenden Verkaufserlöse die Investitionsentscheidung beeinflussen.

4.4.2 Betriebswirtschaft und Management

Zur betrieblichen Wirkung von AMV wurden seit der Einführung dieser Technik eine Vielzahl von Untersuchungen vorgelegt.⁸²⁶ Um die Wirtschaftlichkeit eines AMV zu analysieren, ist die neue Technik in einem Verfahrensvergleich einer konventionellen Melktechnik gegenüber zu stellen. In einem von HEIN vorgelegten Verfahrensvergleich wird ein AMV Lely „Astronaut“ mit einem herkömmlichen Fischgräten-

⁸²⁶ Vgl.: WAUTERS, E.; MATHIJS, E. [Economic Implications], S. 68-74, WADE, K. M. U.A. [Economic Efficiency], S. 62-66, TRILK, J.; ZUBE, P.; MAY, D. [Management], S. 256-270 sowie KNAPPSTEIN,

4 Adoption und Diffusion von AMV

melkstand verglichen.⁸²⁷ Der Vergleich beruht auf der Annahme, dass bei der Beschaffung eines Fischgrätenmelkstandes (2X5) eine kostenoptimale Ausstattungsvariante zum Einsatz gelangt.⁸²⁸ Dabei werden Investitionskosten von 2.700 EUR pro Stallplatz für das AMV und 1.500 EUR im Falle eines Fischgrätenmelkstandes in Ansatz gebracht.

In der Berechnung der jährlichen Kosten wurden Abschreibungssätze von 10 Prozent für die Technik, 4 Prozent für die erstellten Gebäude, 6 Prozent für den Zinssatz des eingesetzten Kapitals sowie 1 Prozent Unterhaltskosten zugrunde gelegt. Bei der Betrachtung der kalkulierten Abschreibung wurden für den konventionellen Melkstand als auch für das AMV gleiche Abschreibungssätze angenommen. Dies ist darin begründet, dass im AMV wie auch beim Fischgrätenmelkstand im Bereich der eingesetzten Melktechnik im wesentlichen bereits langjährig erprobte Bauteile Verwendung finden und, wie hier unterstellt, die gleiche Milchmenge pro Jahr ermolken wird. Die Gesamtkosten pro Kuh und Jahr belaufen sich dabei unter Berücksichtigung der Kosten für Technik und Gebäude sowie der variablen Kosten im Falle eines Fischgrätenmelkstandes auf 225 EUR. Die Kosten für das AMV liegen bei 450 EUR, wodurch sich ein Kostennachteil für das AMV von 225 EUR je Kuh und Jahr ergibt.

In den Verfahrensvergleich sind dabei keine betriebsindividuellen Aspekte aufgenommen worden, die einer Generalisierung der Ergebnisse entgegenstehen würden. So ist der Aspekt einer gegebenenfalls höheren Einzeltierleistung, die auf eine höhere tägliche Melkfrequenz bei einem AMV-Einsatz zurückzuführen wäre ebenso unberücksichtigt geblieben, wie Kosten, die gegebenenfalls bei einem Ausmerzen von Tieren anfallen würden. Weiterhin sind bei der dargestellten Berechnung keine versunkenen Kosten für den Ersatz eines eventuell vorhandenen konventionellen Melkstandes berücksichtigt. Entsprechend der jeweiligen betrieblichen Situation können die wirtschaftlichen Effekte einer Umstellung auf AMV daher stark differieren.

K. U.A. [Erprobung automatischer Melksysteme], 281-303.

⁸²⁷ Vgl.: HEIN, K. [Melkroboter im Praxiseinsatz], S. 50-54.

⁸²⁸ Der Verfahrensvergleich eines AMV mit einem technisch hoch ausgestatteten Melkstand wird als nicht praxiskonform betrachtet, obgleich sich hierdurch eine höhere Vorzüglichkeit des AMV ergeben würde.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Die Arbeitszeiteffekte betreffend wird unterstellt, dass sich aufgrund der Umstellung auf ein AMV der Arbeitszeitbedarf pro Kuh und Jahr mittelfristig um 10 Stunden reduzieren lässt. Dabei ist zu beachten, dass die Arbeitszeit nun über den ganzen Tag verteilt anfällt oder anfallen kann. Die eingesparte Arbeitszeit ist hier mit 22,50 EUR/AKh teuer erkaufte. Bei den meisten Familienbetrieben ohne Fremdarbeitskräfte sind jedoch in aller Regel kaum bedeutsame Opportunitätskosten für die freigesetzte Arbeitszeit, die zu den Tagesrandzeiten anfallen würde, vorhanden. Hier ist der Stundenbetrag als Freizeitwert zu betrachten. In Betrieben mit Lohnarbeitsverfassung liegen tatsächliche Kosten für die Arbeitszeit vor. Zum Ausgleich der dargestellten jährlichen Mehrkosten müsste, werden Personalkosten in Höhe von 15 EUR je Stunde und ein Grenzdeckungsbeitrag pro Liter Milch von 12 ct/kg unterstellt, eine Mehrleistung von 625 kg Milch je Kuh und Jahr erreicht werden. In Familienbetrieben ohne eine adäquate Alternativnutzung für die eingesparte Arbeitszeit würden sich somit bei einer Marktleistung von 7.000 kg Milch pro Kuh und Jahr die Milcherzeugung um 3,2 ct/kg verteuern. Bei einer unterstellten Arbeitszeiteinsparung von 10 Stunden je Kuh und Jahr reduziert sich der Kostennachteil des AMV auf 1,1 ct/kg.⁸²⁹

Eine Investitionsentscheidung für das AMV hat zudem zur Folge, dass die Betriebe mit hohen Fixkosten für die Milchgewinnung belastet werden und sich somit der finanzielle Spielraum der Betriebe stark einengen kann. Ein zusätzliches Investitionshemmnis stellt der sprungfixe Kostenverlauf der auf dem Markt befindlichen AMV dar. Um möglichst geringe Stückkosten in der Milchviehhaltung zu erreichen, kann eine wirtschaftliche und sinnvolle Betriebserweiterung daher nur in „ganzen“, Schritten und somit nur unter der Prämisse einer hohen Kapazitätsauslastung des eingesetzten AMV vollzogen werden. Dies bedeutet, dass die milchviehhaltenden Betriebe im Falle einer Erweiterung neben den hohen Kosten für das AMV auch die anfallenden Kosten für den Stallbau, für das Tiermaterial sowie für die benötigte Referenzmenge zur Auslastung des zusätzlichen AMV zeitnah aufwenden müssen.

⁸²⁹ Von anderen Autoren wurden vergleichbare Größenordnungen zum Nachteil von AMV ermittelt. Vgl.: TRILK, J.; ZUBE, P.; MAY, D. [Management], S. 256-270.

4.5 Einsatz automatischer Melkverfahren

4.5.1 Der Markt für AMV

4.5.1.1 BISHERIGE MARKTENTWICKLUNG VON AMV

Seit der Markteinführung von AMV im Jahre 1992⁸³⁰ lässt sich für deren Marktexpansion eine dynamische Entwicklung feststellen. So folgt die Ausbreitung dieser Technik einem für diese frühe Markteinführungsphase oft üblichen, exponentiellen Funktionsverlauf.⁸³¹ Haben 1995 erst weltweit ca. 20 Betriebe⁸³² ein AMV eingesetzt, so waren es 1997 bereits über 100.⁸³³ Im Jahre 2002 waren, wie aus Abbildung 20 ersichtlich wird, weltweit schon in ca. 1.250 landwirtschaftlichen Betrieben Anlagen zum vollautomatischen Milchentzug im Einsatz.⁸³⁴ Über 90% der Melkautomaten waren zu diesem Zeitpunkt in Mittel- und Nordwesteuropa installiert. Jedoch war deren Zahl, in der Relation zur Gesamtzahl der Milchviehbetriebe, noch sehr gering. So setzten 2002 in Deutschland nur 0,12% aller Betriebe mit Milchviehhaltung ein AMV ein. In den Niederlanden waren es zum selben Zeitpunkt bereits 1,61%.⁸³⁵ Nach dieser im Vergleich zum Gesamtmarkt für Melktechnik sehr verhaltenen Einführung liegt der Anteil von AMV am deutschen Gesamtmarkt für Melktechnik derzeit bei über 15%. Vor allem in den Niederlanden, aber auch in Skandinavien werden Systeme zum vollautomatischen Milchentzug bereits in deutlich größerem Umfang in milchviehhaltenden Betrieben genutzt. So liegt der Marktanteil in Finnland bei über 80%⁸³⁶

Während die Einführung der AMV in der europäischen Landwirtschaft sich - auf

⁸³⁰ Als Zeitpunkt der Markteinführung wird hier das Jahr 1992 angenommen, da in diesem Jahr die ersten in Serie gefertigten Anlagen, so etwa von dem derzeitigen Weltmarktführer Lely, in niederländischen Praxisbetrieben installiert wurden. Vgl.: o. V. [robot milking], S. 2; KONING, K. DE U.A. [automatic milking], S. I-1 sowie MEIJERING, A. [Preface], S. 7. Vgl. auch Kapitel 4.3.2.2.

⁸³¹ Hier sei beispielhaft auf die Verbreitung von Melkmaschinen verwiesen. Vgl. Kapitel 4.1.2.

⁸³² Vgl.: NOSAL, D.; SCHICK, M. [Neue Melksysteme], S. 1.

⁸³³ Vgl.: VAN DEN WEGHE, H.; SEUFERT, H. [Vorwort], S. 3.

⁸³⁴ Die dargestellten Zahlen stellen nur eine ungenaue Bestandsaufnahme dar, da eine exakte Ermittlung der Zahl der AMV-nutzenden Betriebe sowie der installierten Anlagen aufgrund der hohen Dynamik im Markt sowie der restriktiven Informationspolitik einzelner Hersteller nicht ermittelt werden kann. Es wird geschätzt, dass zu Beginn des Jahres 2003 bereits 2.500 AMV installiert waren. Vgl.: o. V. [Hersteller], S. 18.

⁸³⁵ Für das Jahr 2002 werden für Deutschland (Novemberzählung) 128.900 Milchkuhhalter ausgewiesen. Vgl.: ZMP [Milchviehhaltung], S. III.

In den Niederlanden gab es 2002 26.396 Betriebe mit Milchviehhaltung. Vgl.: CBS (Landbouwtelling), o. S.

⁸³⁶ Vgl.: o. V. [Presseinformation].

4 Adoption und Diffusion von AMV

geringem Gesamtmarktniveau – jedoch teilweise dynamisch entwickelt, ist deren Einsatz in den Vereinigten Staaten, Kanada und Ozeanien im Vergleich zum Gesamtmarkt noch geringer. Die Gründe für diese regional stark ungleiche Entwicklung liegen in der unterschiedlichen Betriebsstruktur und den deutlich differierenden Kosten der Arbeitserledigung zwischen Europa und diesen Produktionsregionen.⁸³⁷ Weltweit wird der Umfang aller seither installierter AMV-Anlagen auf ca. 6.000 geschätzt, wobei zusätzliche Neuinstallationen von weiteren ca. 6.000 Einheiten für den Zeitraum von 2007 bis 2010 erwartet werden.⁸³⁸

In Deutschland werden landwirtschaftliche Unternehmer seit 1986 über Entwicklung, Einsatz und Funktion von vollautomatisierten Melkverfahren in landwirtschaftlichen Fachzeitschriften informiert.⁸³⁹ Automatische Melkverfahren werden in Deutschland jedoch erst seit 1996 außerhalb von Versuchsbetrieben in der Milchviehhaltung eingesetzt.⁸⁴⁰ Zu diesem Zeitpunkt waren bereits ca. 45 Anlagen weltweit im Einsatz.⁸⁴¹ Ausgehend von den nord- und nordwestdeutschen Milcherzeugungsregionen, wo Anfang 1997 bereits drei Betriebe ein AMV nutzten,⁸⁴² breitete sich der AMV-Einsatz bis Mitte 1998 in Deutschland regional sehr schnell aus. So wurden im Jahre 1997 erste Anlagen in Schleswig-Holstein,⁸⁴³ Bayern⁸⁴⁴ und Baden-Württemberg eingesetzt.⁸⁴⁵ Ende 1998 waren ca. 50 Anlagen von fünf Herstellern in Deutschland installiert.⁸⁴⁶ Landwirtschaftliche Lehr-, Forschungs- und Versuchseinrichtungen antizipierten diese Ausbreitung des vollautomatischen Milchentzuges nicht. Die Marktentwicklung wurde, im Gegensatz zu der hier zum Teil geleisteten Grundlagenforschung, von ihnen lediglich begleitet, da Praxisbetriebe gleichzeitig oder mit zeitlichem Vorsprung diese Technik zum Einsatz brachten.⁸⁴⁷

⁸³⁷ Auch für Japan ist eine lohnkostenintensive Agrarproduktion festzustellen. Hier ist jedoch anzumerken, dass die Marktentwicklung in Japan bei der aus Europa stammenden Technik mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung einsetzte. Vgl.: TRILK, J. [Melkroboter], S. 68.

⁸³⁸ Vgl.: UNECE/ IFR [World Robotics 2007], S. 389ff.

⁸³⁹ Erste konkrete Informationen zur Entwicklung von AMV finden sich für die landwirtschaftliche Praxis in: WORSTORFF, H. [Wissenschaft und Industrie], S. 19.

⁸⁴⁰ Vgl.: BOHLSSEN, E.; ARTMANN, R. [Erprobung automatischer Melksysteme], S. 262 sowie GERSGRAPPENHAUS, C. [Melkroboter], S. R6.

⁸⁴¹ Vgl.: ROSSING, W.; HOGEWERF, P. H. [automatic milking systems], S. 1.

⁸⁴² Vgl.: ECKL, J. [Melkroboter halten Einzug], S. 30.

⁸⁴³ Vgl.: o. V. [Mit dem Melkroboter], S. 18.

⁸⁴⁴ Vgl.: o. V. [Melkroboter – Zukunft], S. 13.

⁸⁴⁵ Vgl.: o. V. [Astronaut], S. 22.

⁸⁴⁶ Vgl.: CIELEJEWSKI, H. [Automatisches Melken], S. 30.

⁸⁴⁷ Für potentielle Adoptoren einer Innovation ist es wichtig, die neue Technik unter gleichen oder

4 Adoption und Diffusion von AMV

Als erste öffentliche Einrichtungen, die bereits 1997 ein marktgängiges AMV einsetzten, sind die Versuchsstation für Futterbau und Rindviehhaltung Infeld der Landwirtschaftskammer Weser-Ems⁸⁴⁸ sowie das Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim der Tierärztlichen Fakultät München⁸⁴⁹ zu nennen. Mit der Inbetriebnahme eines Melkroboters an der Lehr- und Versuchsanstalt Ruhlsdorf / Groß Kreutz (Brandenburg) in der ersten Hälfte 1999 konnte auch für die größeren Betriebe Ostdeutschlands der vollautomatische Milchentzug regional demonstriert werden.⁸⁵⁰ Insgesamt nahmen seither vorwiegend die AMV-nutzenden landwirtschaftlichen Familienbetriebe die Pionier- und Vorbildfunktion für den Gesamtmarkt ein.

ähnlichen Einsatzbedingungen, wie sie im eigenen Betrieb vorherrschen, zu beobachten. Eine Ersteinführung der Technik in landwirtschaftlichen Praxisbetrieben ist somit als adoptionsfördernd zu betrachten. So stand hier m. E. bei Lehr-, Forschungs- und Versuchseinrichtungen nicht deren Multiplikationsfunktion im Vordergrund. Vielmehr wurde hier aufgrund der Versuchs- und Forschungstätigkeit ein Beitrag zur größeren Markttransparenz für die landwirtschaftlichen Nutzer von AMV geleistet. Zur Bedeutung von Demonstrationsvorhaben im Diffusionsprozess in der Landwirtschaft vgl.: ROGERS, E. M. [Diffusion], S. 355–356.

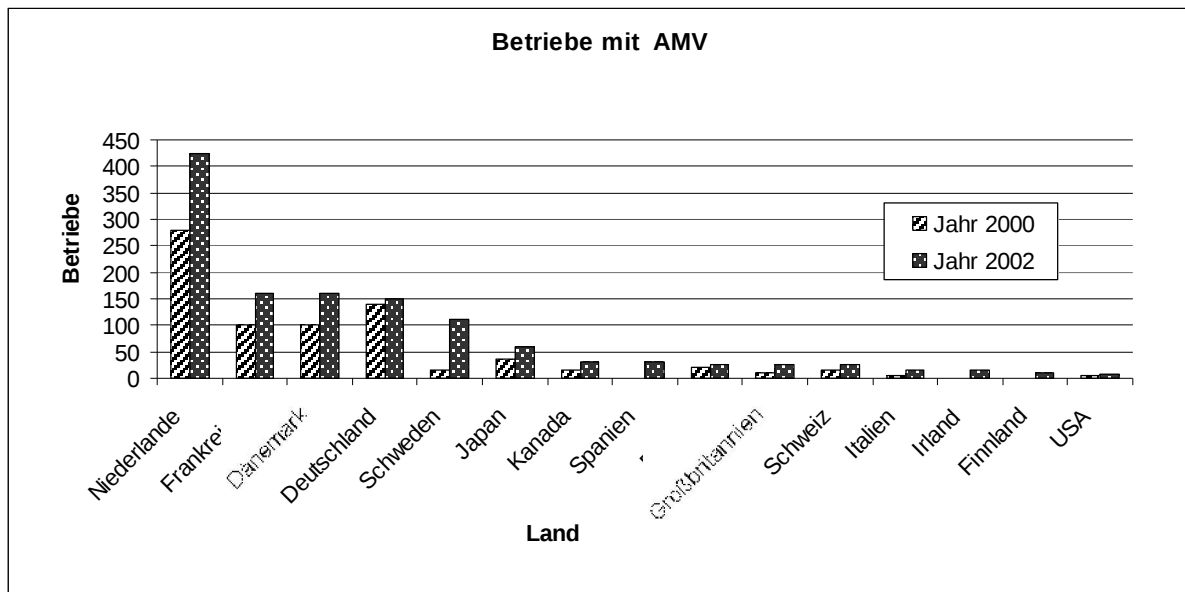
⁸⁴⁸ Vgl.: KLEVERSAAT, K. [Melken], S. 35.

⁸⁴⁹ Vgl.: FÖRSTER, M. U.A. [Erste Erfahrungen], S. 115.

⁸⁵⁰ Vgl.: o. V. [Versuchsbetrieb], S. R3.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Abbildung 20: Übernahme von automatisierten Melkverfahren in verschiedenen Ländern während der ersten Adoptionsphase (2000 und 2002)^{1,2}



Quelle: KAUFMANN, R; AMMANN, H.; HILTY, R. [Melkroboter], REINEMANN, D. J. [Automatic milking in the USA], S. 1-15. sowie VAN DOOREN, H. J.; SPRÖNDLY, E.; WIKTORSSON, H. [Automatic milking], S 7.

¹Hier ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Zahl der installierten AMV die Zahl der Betriebe mit AMV deutlich übersteigen kann, da vor allem bei der Nutzung von Einboxanlagen - entsprechend der Herdengröße - mehrere Anlagen pro Betrieb im Einsatz sein können.

²Die dargestellten Zahlen für 2000 (Stand September) und 2002 (Stand März) können, wie oben bereits dargelegt, nur eine ungenaue Bestandsaufnahme wiedergeben.

4.5.1.2 KLASSIFIKATION DES MARKTES FÜR AMV

In die Betrachtung des Marktes für vollautomatisierte Melkverfahren ist die Analyse der Marktgestalt mit einzubeziehen. Die Gestalt des Marktes ist für die Art des Zusammentreffens von Angebot und Nachfrage und damit für die Preisbildung von Bedeutung.⁸⁵¹ Bei der Klassifikation der hier anzutreffenden Marktform sind insbesondere die marktstrukturellen Gegebenheiten sowie das Marktverhalten der Anbieter hervorzuheben.

Die Marktstruktur - oder auch Marktmorphologie - umfasst eine qualitative, den Markttyp umschreibende Dimension sowie eine quantitative Dimension, welche die

⁸⁵¹ Vgl.: HERDZINA, K. [Mikroökonomik], S. 110.

Marktbesetzung umfasst.⁸⁵²

(1) Markttyp

Der Markttyp wird durch den Organisationsgrad, den Grad der Offenheit sowie durch den Vollkommenheitsgrad charakterisiert.⁸⁵³

Da unorganisierte Märkte in einer modernen Marktwirtschaft auszuschließen sind, ist ein Mindestorganisationsgrad, der sich im Falle des hier betrachteten Marktes vor allem in Form gesetzlicher Regelungen und technischer Standards niederschlägt, gegeben. Diese sind jedoch auf dem Markt für AMV für die Art der Preisbildung als auch für die Höhe der Preise selbst von nicht maßgeblicher Bedeutung. Der Grad der Offenheit des AMV-Marktes kann durch Art und Umfang möglicher rechtlicher Zugangsbeschränkungen sowie durch wirtschaftliche Hemmnisse als Markteintrittsbarrieren determiniert sein.⁸⁵⁴ Da rechtliche Zugangsbeschränkungen für einzelne Marktteilnehmer nicht bekannt sind, rücken mögliche ökonomische Hindernisse des Marktzutritts in den Vordergrund der Betrachtung, welche den Marktzutritt de facto erschweren bzw. verhindern können. Die in der Literatur wiederholt als Eintrittsbarrieren angeführten *economics of scale*⁸⁵⁵ lassen sich in Anbetracht der bisherigen Produktionsumfänge in einem nur untergeordneten Maße für den AMV-Markt feststellen. So liegt bei den hier am Markt agierenden Unternehmen keine Massenproduktion, verbunden mit einer notwendig hohen Unternehmensgröße, vor.⁸⁵⁶ Vielmehr wird der Markt, wie oben dargestellt, von nicht klassischen Melktechnikherstellern kleinerer Unternehmensgröße dominiert, welche sich eine Technologieführerschaft erworben haben. Für neu in den Markt ein tretende Anbieter besteht somit keine Notwendigkeit, sofort erhebliche Produktionskapazitäten zu errichten, was einen hohen Finanzierungsbedarf an Sachkapital zur Folge hätte. Vielmehr können die hohen Kosten für Forschung und Entwicklung als bedeutende wirtschaftliche Markteintrittsbarriere angeführt werden. So wird die Offenheit des AMV-Marktes erheblich durch die von den einzelnen Anbietern ge-

⁸⁵² Vgl.: HENRICHSMEYER, W. u.a. [Volkswirtschaftslehre], S. 52.

⁸⁵³ Vgl.: HERDZINA, K. [Mikroökonomik], S. 111.

⁸⁵⁴ Vgl.: HERDZINA, K. [Wettbewerbspolitik], S. 68f.

⁸⁵⁵ Zum Begriff der *economics of scale* vgl.: MANKIW, N. G. [Volkswirtschaftslehre], S. 304ff.

⁸⁵⁶ Hier sei auf die Massenproduktionshypothese als Erklärungsansatz für Marktverhalten und Marktergebnisse verwiesen. Vgl.: HERDZINA, K. [Wettbewerbspolitik], S. 69ff sowie SCHUMANN, J.; MEYER, U.; STRÖBELE, W. [Grundzüge], S. 376.

4 Adoption und Diffusion von AMV

haltenen Patente, wie oben dargestellt, reduziert.⁸⁵⁷ Die geschilderten langen Entwicklungszeiträume, verbunden mit einer zum Teil notwendigen Grundlagenforschung, führen hier zu einem erheblichen Investitionsbedarf. Die Entwicklungsgeschichte der AMV-Technik hat gezeigt, dass sich Unternehmen aufgrund dieser finanziellen Belastungen aus dem Markt bzw. der Entwicklung der Technik wieder zurückgezogen haben. Auch entstehen durch den für den Betrieb von AMV notwendigen Aufbau einer umfangreichen Servicestruktur für die Hersteller sprungfixe Kosten, welche beim Markteintritt aufzuwenden sind. Diese sind als ein weiteres bedeutendes wirtschaftliches Eintrittshindernis, zumindest für eine rasche räumliche Marktdurchdringung, anzusehen.⁸⁵⁸

Der Vollkommenheitsgrad des Marktes für AMV ist zum einen durch die vorherrschende Markttransparenz bestimmt.⁸⁵⁹ Es ist hier zu unterstellen, dass alle Marktteilnehmer über alle notwendigen Marktbedingungen nahezu vollständig informiert sind. So dürften den potentiellen Nachfragern die Leistungskennzahlen sowie die Qualität der Arbeitserledigung der am Markt angebotenen Anlagen, die Preise sowie alle möglichen Anbieter bekannt sein. Den Anbietern ist eine tiefe Kenntnis aller Marktgegebenheiten sowie das Wissen um die bei den Wettbewerbern vorherrschenden Produktions- und Kostenbedingungen zu unterstellen. Diese Transparenz schließt jedoch die Kenntnis um den zukünftigen Pfad der technischen Entwicklung wie auch die von den Herstellern getätigten Investitionen, vor allem im Bereich der Forschung und Entwicklung, ausdrücklich nicht mit ein. Auch besteht eine nahezu vollständige Intransparenz bezüglich einer zeitnahen quantitativen Beschreibung des AMV-Marktes, was auf ein restriktives Informationsverhalten der Anbieter zurückzuführen ist. So lassen sich die jeweiligen Marktanteile wie auch die Entwicklung des Gesamtmarktes nur mit einem gewissen time-lag schätzen. Zum anderen ist bei der Charakterisierung des Vollkommenheitsgrades des AMV-Marktes eine Bewertung der Homogenität der angebotenen Anlagen, vor allem aus der Einschätzung der Nachfrager heraus, vorzunehmen.⁸⁶⁰ So bestehen zum Teil

⁸⁵⁷ Zur Bedeutung der Gewährung von Patenten im innovatorischen Wettbewerb vgl.: SCHUMANN, J.; MEYER, U.; STRÖBELE, W. [Grundzüge], S. 36f.

⁸⁵⁸ Inwieweit jedoch die Höhe des Kapitalbedarfs als schwerwiegende Eintrittsbarriere allgemein zu werten ist, ist in der Literatur umstritten. Vgl.: HERDZINA, K. [Mikroökonomik], S. 112.

⁸⁵⁹ Vgl.: HENRICHSMEYER, W. u.a. [Volkswirtschaftslehre], S. 49ff.

⁸⁶⁰ Liegt ein homogenes Güterangebot vor, bestehen sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite keinerlei Präferenzen bzgl. Güter bzw. Marktteilnehmer. Vgl.: SCHUMANN, J.;

4 Adoption und Diffusion von AMV

erhebliche sachliche, räumliche und zeitliche Leistungsunterschiede zwischen den Angeboten (Leistungen) der jeweiligen Hersteller. Im Hinblick auf die bereits oben dargelegten Unterschiede zwischen den einzelnen Anlagentypen ist festzuhalten, dass die einzelnen Melkautomaten nicht als qualitativ gleichartig anzusehen sind. Zeitliche Angebots-Unterschiede können in der Verfügbarkeit der Anlagen bzw. im Vorhandensein unterschiedlicher Lieferfristen bestehen. Sowohl die in ihrer Kapazität für die vorhandene Marktnachfrage nicht ausreichenden Produktionsanlagen als auch eine regional nicht vorhandene bzw. erst sich im Aufbau befindliche Vertriebs- und Servicestruktur des jeweiligen Herstellers führen zu einer zeitlichen Inhomogenität der AMV. Insbesondere die Qualität der Servicestruktur führt zu einer deutlichen zeitlichen und vor allem räumlichen Differenzierung des AMV-Marktes. So ist zu beobachten, dass die einzelnen Hersteller Anstrengungen unternehmen, regionale Vertriebsschwerpunkte zu bilden, welche den wirtschaftlichen Betrieb einer Serviceeinheit gewährleisten. Die räumliche und zeitliche Marktdiffusion von AMV ist somit seither im Wesentlichen in der von den Anbietern definierten Vertriebsentscheidung begründet.

(2) Marktbesetzung

Das Kriterium der Marktbesetzung bezieht sich auf die Zahl und die relative Größe der Marktteilnehmer.⁸⁶¹ Der AMV-Markt ist von wenigen Anbietern beherrscht, welche zum Teil, wie oben dargestellt, über die Vergabe von Lizenzen in ihrem Marktverhalten zumindest teilweise voneinander abhängig sind. Ihnen stehen eine Vielzahl von Nachfragern gegenüber. Bezüglich der Marktbesetzung ergibt sich daher das Bild eines Oligopols. Dieses befindet sich im Übergang zum Teilmonopol, da sich die relative Größe der Marktteilnehmer auf der Anbieterseite deutlich voneinander unterscheiden. Mit weltweit ca. 1.900 installierten Anlagen (Anfang 2003) und ca. 4.000 Einheiten (Ende 2006) kann Lely uneingeschränkt als Weltmarktführer bezeichnet werden. Dabei wurden im ersten Jahr der Markteinführung des Astronaut A3 (November 2005 bis Dezember 2006) 1.000 Einheiten dieses Typs abgesetzt.⁸⁶² Auch unter Beachtung der Tatsache, dass eine zeitnahe quantitative

MEYER, U.; STRÖBELE, W. [Grundzüge], S. 207f.

⁸⁶¹ Vgl.: HERDZINA, K. [Mikroökonomik], S. 114.

⁸⁶² Vgl.: o. V. [Hersteller], S. 18f sowie o. V. [1.000 Astronaut A3].

Bei weltweit 2.500 installierten Anlagen zu Beginn des Jahres 2003 nimmt Lely damit einen Anteil von 76 % ein. Vgl.: DUNN, N. [Robot milking], o. S.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Beschreibung des AMV-Marktes nur sehr schwer möglich ist, lässt sich eine offensichtlich hohe Marktmacht dieses Herstellers feststellen.⁸⁶³ Eine Begründung für die Einordnung des AMV-Marktes zumindest als Teilmonopol liefert die Tatsache, dass die Aktivitäten anderer Marktteilnehmer ohne erkennbaren Einfluss auf das Marktgeschehen geblieben sind. Demnach ist eine starke Interdependenz bzw. Reaktionsverbundenheit unter den Marktteilnehmern als weiteres Kennzeichen des Oligopols auf dem Markt für vollautomatisierte Melkverfahren nicht gegeben.

Werden die Aussagen zu Markttyp und Marktbesetzung zusammengeführt, ergibt sich die Form des AMV-Marktes.⁸⁶⁴ Diese ist aufgrund der beschriebenen Unvollkommenheit des AMV-Marktes und des vorherrschenden Teilmonopols von einer deutlichen monopolistischen Preis-Absatz-Strategie des Herstellers Lely geprägt.⁸⁶⁵ Für die übrigen Hersteller im AMV-Oligopol sind gleichzeitig individuelle Preis-Absatz-Funktionen mit einem geringeren monopolistischen Spielraum als jene des marktführenden Anbieters anzunehmen.⁸⁶⁶ Da die landwirtschaftlichen Nachfrager innerhalb dieses Spielraumes keine starke Mengen- bzw. Preisreaktion zeigen, werden durch das Nachfrageverhalten die übrigen Anbieter nicht betroffen, wodurch keine Gegenreaktionen am Markt hervorgerufen werden.⁸⁶⁷

Neben einer Preisstrategie ist auch eine Mengenstrategie einzelner bzw. aller oligopolistischen Hersteller denkbar. Bei der Betrachtung des AMV-Marktes kann angenommen werden, dass die Anbieter eine autonom-konjunkturelle Strategie einnehmen.⁸⁶⁸ So bieten die Akteure ihre jeweilige Unabhängigkeitsmenge an AMV-

Diesen Marktanteil konnte der Hersteller offensichtlich halten.

⁸⁶³ Zur restriktiven Marktmacht vgl.: HERDZINA, K. [Wettbewerbspolitik], S. 82ff.

Zu Marktmacht führen Produktionsumstände, welche durch zunehmende Skalenerträge oder hohe Fixkosten (= abnehmende Grenzkosten) gekennzeichnet sind, was zur Bildung sog. natürlicher Monopole führen kann. Vgl.: HEERTJE, A.; WENZEL, H.-D. [Volkswirtschaftslehre], S. 388f. Weiterführend zu markstrukturellen Konstellationen (marktbeherrschende, marktstarke und überlegende Unternehmen) vgl.: §§ 19 und 20 GWB.

⁸⁶⁴ Vgl.: HENRICHSMEYER, W. u.a. [Volkswirtschaftslehre], S. 49ff.

⁸⁶⁵ Zum dem auf STACKELBERG zurückgehenden Marktformenschema vgl.: SCHUMANN, J.; MEYER, U.; STRÖBELE, W. [Grundzüge], S. 273ff.

⁸⁶⁶ Zum Verhalten von Unternehmen in monopolistischen und oligopolistischen Märkten vgl.: HERRMANN, M. [Volkswirtschaftslehre], S. 165–192 sowie HUNT, E. K.; SHERMAN, H. J. [Volkswirtschaftslehre], S. 272–287.

⁸⁶⁷ Das Angebot an gewerblich produzierten Kapitalgütern für die Landwirtschaft kann jedoch grundsätzlich als weitgehend preiselastisch angesehen werden. Vgl.: HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik], S. 342–346. Zum Faktoreinsatz in der Landwirtschaft vgl. weiterführend: HENZE, A. [Produktionsmittel], S. 39–52.

⁸⁶⁸ Insgesamt erscheinen die in der Literatur beschriebenen Strategien und Reaktionshypothesen im Oligopol vielfältig. Vgl.: HERDZINA, K. [Mikroökonomik], S. 140.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Anlagen am Markt an. Dieses Verhalten kann prinzipiell zu einem asymmetrischen Dyopol (Stackelberg-Modell),⁸⁶⁹ zu Verdrängungsverhalten oder zu einem Zustand einer auf Verständigung basierenden gemeinsamen Gewinnmaximierung führen. Grundsätzlich ist im Falle des Marktes für AMV zu unterstellen, dass die Wettbewerber weiterhin eigene Interessen und Strategien verfolgen, die sich auf eine Erhöhung des Marktanteils gegenüber dem Konkurrenten richten (andernfalls müsste eine Kartellabsprache mit einer Festlegung von Marktanteilen und Gewinnquoten unterstellt werden, für welche keine Belege vorliegen). Dabei muss jedoch auch unterstellt werden, dass die Anbieter versuchen, den monopolistischen Preis-Absatz-Spielraum, der für die Gesamtheit der Anbieter besteht, möglichst weit auszunutzen.⁸⁷⁰ Es kann für den AMV-Markt gefolgert werden, dass vor dem Hintergrund bedeutender Markteintrittsbarrieren sowie der Tatsache, dass es sich hier um einen Verkäufermarkt handelt,⁸⁷¹ insgesamt eine Mengenstrategie realisiert wird, welche zu einer gemeinsamen Gewinnmaximierung führt. Dies zeigt sich unter anderem in der Marktreaktion auf das Verhalten des Anbieters Lely: So konnte der Hersteller seine Produktion im Jahre 2002 um 20% ausdehnen und im Zeitraum November 2005 bis Dezember 2006 mit der Einführung des Astronaut A3 eine weitere Produktionssteigerung vornehmen, ohne dass eine bedeutende Preis bzw. Mengenreaktion erkennbar wurde.⁸⁷²

Soll der Gewinn bei gegebener Marktlage und folglich unveränderter Nachfragefunktion noch weiter erhöht werden, ist eine monopolistische Preisdifferenzierung auf der AMV-Angebotsseite denkbar.⁸⁷³ Unter der Annahme, dass eine Gruppe von landwirtschaftlichen Nachfragern bereit ist, einen höheren Preis als den Monopolpreis zu zahlen, kann zum einen eine Marktspaltung betrieben werden.

⁸⁶⁹ Vgl.: MATSCHKE, X. [Stackelberg-Dyopol], S. 114–120.

⁸⁷⁰ Vgl.: MANKIW, N. G. [Volkswirtschaftslehre], S. 372–384.

⁸⁷¹ Hier liegt eine Marktsituation vor, in der die Nachfrage nach AMV das Angebot übersteigt, sodass eine entsprechend dem Nachfrageüberhang ausgeprägte Nachfragekonkurrenz und damit starke Stellung der Angebotsseite vorliegt. Zum Verhalten gewerblicher Käufer vgl.: BÄNSCH, A. [Käuferverhalten], S. 181–224.

⁸⁷² Vgl.: o. V. [Limited Edition], o. S. sowie o. V. [1.000 Astronaut A3].

Für das Jahr 2006 wurde eine Verdoppelung der Produktion, bei einer Sicherung der Marktanteile, angekündigt. Vgl.: o. V. [Astronaut Melkrobotersysteme].

⁸⁷³ Vgl.: HARDES, H.-D.; WEBER, S. [Preisdifferenzierung], S. 230–237.

Zum anderen können mehrere heterogene Güter (auch Güterkombinationen) angeboten werden, was eine sachliche Differenzierung der AMV erforderlich macht.⁸⁷⁴ So wird von der Angebotsseite versucht, die zwischen dem Marktpreis und dem Grenznutzen liegende Rente des landwirtschaftlichen AMV-Nutzers möglichst abzuschöpfen, um so, unter Beachtung der für den Anbieter entstehenden zusätzlichen Kosten, einen höheren Gesamtgewinn zu erzielen. Hier kann beispielhaft die Absatzstrategie des Herstellers Lely für den bisherigen Anlage-Typ Astronaut A2 angeführt werden. Differenzierungen bestanden hier zeitweise sowohl hinsichtlich der verwendeten Materialien als auch bezüglich der Ausstattung mit Einrichtungen zur Betriebs- und Tierüberwachung.⁸⁷⁵ So kann das Gerät in seiner Grundvariante zum vollautomatischen Milchentzug genutzt werden. Soll den Anforderungen zur Milchhygiene entsprochen werden, ist das MQC als Zusatzeinrichtung zu beschaffen. Andere zusätzliche Ausstattungsmerkmale (wie z. B. Waageplattform, Videoüberwachung, Modul zur individuellen Trennung und Sammlung von Milchproben) dienen nicht notwendigerweise der Grundfunktion des vollautomatischen Milchentzuges. So wird hier bei einem Kauf eine höhere Zahlungsbereitschaft entsprechend des jeweiligen bei den Kunden vorherrschenden Grenznutzens vom AMV-Anbieter LELY abgeschöpft. Die von diesem Hersteller betriebene Marktausweitung mittels einer limitierten, preisreduzierten AMV-Ausstattungsvariante (Jubiläums-Sonderaktion)⁸⁷⁶ kann hingegen als absatzpolitisches Instrument zur Steigerung des eigenen Marktanteils angesehen werden.⁸⁷⁷ Eine Fortsetzung dieser Absatzstrategie ist auch für das neu konzipierte Nachfolgemodell Astronaut A3 zu erkennen, wobei hier wesentliche Komponenten wie das MQC aber auch Wiegezellen bereits in die Basisversion integriert sind. Dabei wurde der Abgabepreis um ca. 10% gegenüber dem Vorgängermodell erhöht.

Grundsätzlich versuchen die AMV-Anbieter auf den monopolistischen bzw. oligopolistischen AMV-Teilmärkten die Höhe ihres Extragewinnes möglichst zu erhalten.

⁸⁷⁴ Vgl.: SCHUMANN, J.; MEYER, U.; STRÖBELE, W. [Grundzüge], S. 24–28.

⁸⁷⁵ Der Hersteller gibt an, dass damit den verschiedenen Ausstattungs- und Preisvorstellungen der Kunden entsprochen werden soll. O. V. [Produktinformation Astronaut], o. S.

⁸⁷⁶ Im Jahre 2002 offerierte LELY anlässlich der zehnjährigen Markteinführung des LELY Astronauts eine Jubiläums-Serie („Astronaut® Limited Edition“), welche sich nach Herstellerinformationen sehr erfolgreich vermarkten ließe. Vgl.: O. V. [Limited Edition], o. S.

⁸⁷⁷ Faktisch entsteht durch die Bündelung verschiedener Ausstattungsmerkmale ein neues Produkt, wodurch die Heterogenität am Markt erhöht wird. Vgl.: SIMON, H. [Preisbündelung], S. 1213–

4 Adoption und Diffusion von AMV

Dieser Extragewinn (Rente) übt jedoch grundsätzlich eine hohe Attraktivität auf neue Anbieter aus, welche an diesem partizipieren möchten. Ein neuer Markteintritt könnte zur Folge haben, dass die jeweiligen Monopol-, Teilmonopol- bzw. Oligopol-situationen zerstört, zumindest jedoch gefährdet würden.⁸⁷⁸ Die zumindest für Teilmärkte zu vermutende weitgehende Identität der Marktnachfragekurve mit der Preis-Absatz-Kurve des Anbieters Lely wäre nicht mehr gegeben. So würden sich die individuellen Preis-Absatz-Funktionen der bisherigen AMV-Anbieter in der Folge nach links verschieben. Die Preisbildung auf dem AMV-Markt ist somit von der Einschätzung des Markteintritts möglicher Wettbewerber, also einer potentiellen Konkurrenzsituation, bestimmt. Wird, in Anbetracht der erheblichen Eintrittsbarrieren am AMV-Markt, dennoch der Versuch eines potentiell erfolgreichen Markteintritts unternommen, ist davon auszugehen, dass die bisherigen Anbieter mittels einer Preiskorrektur reagieren (eintrittsverhindernde Preise), wodurch der derzeit erzielte Extragewinn geschmälert wird.⁸⁷⁹ Dieses Verhalten kann auf dem AMV-Markt, aufgrund der spezifischen Marktkonstellationen, seither nicht beobachtet werden. Dass diese Reaktion auf dem AMV-Markt seither nicht beobachtet wurde, kann auf zwei Gründe zurückgeführt werden: So ist der AMV-Markt als Verkäufermarkt durch einen Nachfrageüberhang charakterisiert. Überkapazitäten in der Fertigung der Anlagen, die aufgrund einer Fixkostendegression ausgelastet werden müssten, sind nicht vorhanden. Zum anderen kann von den seither bekannten potentiellen Wettbewerbern ohnehin ein Markteintritt erwartet werden. So hat der relativ spät erfolgte Markteintritt von DeLaval keine Preisreaktion hervorgerufen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der AMV-Markt als Oligopol mit starken monopolistischen Tendenzen (Teilmonopol) durch einen geringen Preiswettbewerb sowie einen deutlichen Nachfrageüberhang geprägt ist. Weiterhin ist der Markt für vollautomatisierte Melkverfahren durch eine Konstanz (Starrheit) der Preise gekennzeichnet ist.⁸⁸⁰ Die Marktdiffusion von AMV begründet sich seither, wie dargelegt, in der von den Anbietern definierten Vertriebsentscheidung.

1234 sowie WÜBKER, G. [Sonderangebotspolitik], S. 693–713.

⁸⁷⁸ Vgl.: HERDZINA, K. [Mikroökonomik], S. 130.

⁸⁷⁹ Vgl.: SCHUMANN, J.; MEYER, U.; STRÖBELE, W. [Grundzüge], S. 375ff.

⁸⁸⁰ Diese sog. oligopolistische Preisstarrheit stellt eine charakteristische Eigenschaft vieler oligopolistischer Märkte dar. Vgl.: HENRICHSMEYER, W.; GANS, O.; EVERS, I. [Volkswirtschaftslehre], S. 237–239.

4.6 Einstellungen im Entscheidungsprozess zum Kauf eines automatisierten Melkverfahrens

4.6.1 Zur Untersuchung von Einstellungen im Entscheidungsprozess für AMV

Zur Akzeptanz des vollautomatisierten Milchentzuges in der landwirtschaftlichen Praxis, wie auch zu den Gründen, welche bei AMV-Nutzern zum Kauf eines Melkautomaten geführt haben, wurden seither mehrere Untersuchungen vorgelegt. Die in ihren Ergebnissen im Folgenden näher dargestellten Arbeiten unterscheiden sich zum Teil erheblich in Zielsetzung und Umfang der Untersuchung. Auch sind sie zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Innovationsprozess der betrachteten Technik durchgeführt worden.

Ziel der Befragungen insgesamt ist es, die Akzeptanz von milcherzeugenden Betrieben gegenüber vollautomatisierten Melkverfahren zu ermitteln. Die Inhalte der Befragungen sind vorwiegend bestimmt durch die vermuteten betrieblichen und produktionstechnischen Wirkungen eines Einsatzes vollautomatisierter Melkverfahren.⁸⁸¹ Aber auch die Überlegungen zum generellen Innovationsverhalten in der Landwirtschaft bedürfen einer empirischen Überprüfung und sollen helfen, die Innovationsbereitschaft der befragten Milcherzeuger einzuschätzen. Für die vorliegenden Untersuchungen kann dabei eine zentrale Forschungshypothese isoliert werden.⁸⁸²

Bei einer Investitionsentscheidung für ein automatisiertes Melkverfahren können Rentabilitätsüberlegungen zu Gunsten sozialer Vorteilhaftigkeiten in den Hintergrund treten.

4.6.2 Untersuchungen zu Einstellungen im Entscheidungsprozess für AMV

4.6.2.1 BORNSCHEUER UND KÖNIG

Bereits 1989, drei Jahre vor der Praxiseinführung von AMV, legten BORNSCHEUER und KÖNIG eine Analyse zu Einstellung und Bereitschaft milchviehhaltender Betriebe vor, in ein Verfahren zum vollautomatischen Milchentzug zu investieren.⁸⁸³ Das

⁸⁸¹ Vgl. Kapitel 4.4.

⁸⁸² Vgl.: HAGER, W.; WESTERMANN, R. [Planung und Auswertung von Experimenten], S. 172.

⁸⁸³ Von BORNSCHEUER und KÖNIG wurden zwei getrennte Diplomarbeiten erstellt, welche sich auf die

4 Adoption und Diffusion von AMV

Ergebnis der schriftlichen Erhebung unter 50 Landwirten zeigt, dass 46 % der Befragten eine positive Einstellung zum Melkautomaten haben und diesen, sofern er praxisreif ist, auch einsetzen würden. Jedoch führten schon zu dieser frühen Marktphase die auch noch bei Anlagen modernster Bauart vorgebrachten Bedenken bei 54 % der Befragten zu einer Ablehnung der Technik.⁸⁸⁴ So wurden von den Landwirten in der Gruppe der potentiellen Nichtanwender ein hohes Investitionsvolumen (48 % der potentiellen Nichtanwender), eine zu geringe Betriebsgröße (26 %), eine erwartete schlechtere Eutergesundheit (7 %) sowie die Befürchtung, einen hohen Anteil der Milchviehherde aufgrund eines Robotereinsatzes ausmerzen zu müssen (7 %), als Ablehnungsgründe angeführt. Weitere sieben Prozent der Nichtanwender lehnten den Kauf eines Melkautomaten ab, da er in der zu dieser Zeit bekannten Entwicklungsform nicht für Betriebe mit Weidehaltung geeignet schien.⁸⁸⁵

Für die Gruppe der potentiellen Anwender waren die erwartete Arbeitseinsparung und -erleichterung (87 % der potentiellen Anwender) sowie eine erhoffte Milchleistungssteigerung (13 %) die Hauptbeweggründe zum Kauf eines erst zukünftig praxisreifen vollautomatisierten Melkverfahrens.⁸⁸⁶ Die eingesparte Arbeitszeit wollen die potentiellen Anwender gemäß dieser Studie vornehmlich zur Ausdehnung der Milchviehhaltung (62 %), zum Aufbau eines neuen Betriebszweiges (22 %) bzw. zum Ausbau anderer Betriebszweige (52 %) als jener der Milchviehhaltung sowie zu vermehrter Freizeit (39 %) nutzen. Lediglich 39 % der an der Befragung Beteiligten sehen die Notwendigkeit, im Falle eines AMV-Einsatzes mehr Zeit für eine verbesserte Beobachtung der Tiere aufzuwenden.⁸⁸⁷ Auf der Basis des zum Zeitpunkt der Studie vorhandenen Wissens über Kosten und Wirkungen des AMV wird als Ergebnis dieser Untersuchung vermutet, dass eine Einführung des vollautomatischen Melkens in etwa jedem sechsten milchviehhaltenden Betrieb der alten Bundesländer erwartet werden kann.⁸⁸⁸

Ergebnisse einer gemeinsam durchgeführten empirischen Erhebung stützen. Vgl.: BORNSCHEUER, H. [Abschätzung der Wirtschaftlichkeit], S. 20 sowie KÖNIG, W. [Technikfolgen], S. 26.

⁸⁸⁴ Vgl.: KÖNIG, W. [Technikfolgen], S. 34.

⁸⁸⁵ Mehrfachnennungen waren möglich. Vgl.: BORNSCHEUER, H. [Abschätzung der Wirtschaftlichkeit], S. 30f.

⁸⁸⁶ Vgl.: BORNSCHEUER, H. [Abschätzung der Wirtschaftlichkeit], S. 29f.

⁸⁸⁷ Vgl.: BORNSCHEUER, H. [Abschätzung der Wirtschaftlichkeit], S. 32f.

⁸⁸⁸ Vgl.: ISERMEYER, F. [Technikfolgenabschätzung], S. 148.

4.6.2.2 GERBER

Für die von GERBER 1999 erstellte Studie zur Einstellung von Landwirten zum Melkroboter wurden 331 Interviews, welche im Rahmen der EuroTier '98 mit Milchzeugern geführt wurden, ausgewertet.⁸⁸⁹ Von den Befragten zeigten sich 67 % interessiert bis sehr interessiert an der AMV-Technik. Dabei gaben 19 % der Landwirte an, einem AMV-Kauf „sehr nah“ bzw. „nah“ zu sein.⁸⁹⁰

Als Ergebnis der Arbeit kann festgehalten werden, dass lediglich 26 % der befragten Landwirte den Melkroboter als „eher“ bzw. „sehr“ ausgereift ansahen. 23 % gaben an, die Technik als „eher“ bzw. „sehr“ unausgereift einzustufen.⁸⁹¹ Umstellungsprobleme beim Übergang von der konventionellen Melktechnik hin zum vollautomatischen Milchentzug werden in dieser Studie von 47 % der Milchviehhalter befürchtet, wohingegen 25 % keine besonderen Umstellungsprobleme erwarteten.⁸⁹²

Die für den AMV-Betrieb notwendige Servicestruktur wird von 35 % der Befragten als „gut“ bis „sehr gut“ eingeschätzt. Lediglich 11 % der Befragungsteilnehmer äußern Bedenken („sehr schlecht“ bzw. „schlecht“) in Bezug auf die erwartete Kundendienstqualität für AMV. Hierbei muss jedoch der Informationsstand der Landwirte Berücksichtigung finden, da alle „sehr gut“ Informierten hier keine Probleme befürchten.⁸⁹³ Eindeutige Aussagen werden in dieser Studie zur Einschätzung der Landwirte bezüglich des Investitionspreises wiedergegeben. So gaben 93 % der Befragten an, den Melkroboter als teuer („sehr teuer“ bzw. „teuer“) einzuschätzen.⁸⁹⁴

⁸⁸⁹ Vgl.: GERBER, S. [Einstellung], S. 34.

311 Befragungsteilnehmer (94 %) stammten aus Deutschland, drei Prozent aus Österreich und jeweils einer aus Dänemark, den Niederlanden, Tschechien und der Schweiz. Vgl.: GERBER, S. [Einstellung], S. 32.

⁸⁹⁰ Vgl.: GERBER, S. [Einstellung], S. 70.

⁸⁹¹ Gut die Hälfte der Befragten (51%) antworteten hier mit „teils, teils“. Vgl.: GERBER, S. [Einstellung], S. 60.

⁸⁹² Vgl.: GERBER, S. [Einstellung], S. 66.

⁸⁹³ Vgl.: GERBER, S. [Einstellung], S. 61.

⁸⁹⁴ Vgl.: GERBER, S. [Einstellung], S. 69.

4.6.2.3 KOWALEWSKY UND FÜBBEKE

KOWALEWSKY und FÜBBEKE stellten 1999 in einer Befragung von 32 deutschen und niederländischen AMV-nutzenden Betrieben fest, dass die erwartete Arbeitsentlastung der wichtigste Grund im Entscheidungsprozess zum Kauf eines vollautomatisierten Melkverfahrens war. Wie aus Tabelle 2 weiter hervorgeht, nahmen auch die sozialen Vorteile einen hohen Stellenwert bei der Kaufentscheidung ein. So wurde von den befragten Landwirten die Flexibilisierung der Arbeitszeit durch den Wegfall der termingebundenen fixen Melkzeiten sowie der Zugewinn an Freizeit betont. Die Notwendigkeit, aufgrund der Überalterung der seither genutzten konventionellen Melktechnik eine Ersatzinvestition zu tätigen, führte bei 20 % der Betriebe zu der Entscheidung, ein AMV zu beschaffen. Dabei wurde von den Betrieben unterstellt, dass das Investitionsvolumen bei der Anschaffung eines AMV die Gesamtkosten der Investition in eine konventionelle Melktechnik nicht übersteigt. Dies wird von 6 % der befragten Betriebe auf geringere Kosten für die von einem AMV, aufgrund der geringeren Standfläche, beanspruchte Bauhülle zurückgeführt. Die bei einem AMV-Einsatz erhöhte Milchleistung pro Tier war für 17 % der in die Untersuchung einbezogenen Betriebe der wichtigste Kaufgrund. Die Erwartung, aufgrund des Einsatzes eines vollautomatisierten Melkverfahrens eine Verbesserung der Tiergesundheit zu erreichen, rangiert mit 14 % an fünfter Stelle der Nennungen. Vor allem von der erhöhten Melkfrequenz werden positive Einflüsse auf den Gesundheitsstatus der Herde erhofft. Von geringerem Einfluss auf die Kaufentscheidung der Landwirte ist die Aussicht, mittels AMV den betrieblichen Arbeitseinsatz dahingehend zu reduzieren, dass der Beschäftigungsumfang von Lohnarbeitskräften verringert bzw. auf Fremdarbeitskräfte gänzlich verzichtet werden kann. In erster Linie nannten Betriebe, bei welchen altersbedingt auf die Mithilfe des Altenteilers fortan verzichtet werden musste, dieses Kriterium als wichtigstes Kaufargument. Für einige wenige Befragte stand eine bei AMV-Betrieben zu beobachtende erhöhte Stallruhe im Vordergrund der Kaufentscheidung. Hier schlägt sich der von den Befragten in AMV-Betrieben gewonnene Eindruck eines kontinuierlichen, aber ruhigen Kuhverkehrs in der Kaufentscheidung nieder. Ob der von 9 % der Landwirte als kaufentscheidend angeführte Wunsch nach einer modernen Melktechnik ausschließlich auf die produktionstechnische Notwendigkeit zurückzuführen ist oder ob hier ein erhofftes höheres Sozialprestige den Kauf entscheidend

4 Adoption und Diffusion von AMV

beeinflusste, bleibt in der hier zitierten Studie letztlich ungeklärt.

Tabelle 2: Beweggründe zum Kauf von automatisierten Melkverfahren bei
KOWALEWSKY und FÜBBEKE¹

Kaufgrund	Anteil der Befragten (in %)
Arbeitsentlastung	43 %
Mehr Freizeit/ flexiblere Arbeitszeit	25 %
Bei Ersatzinvestition Melkroboter nicht teurer als konv. Technik	20 %
Milchleistungssteigerung	17 %
Verbesserung der Tiergesundheit	14 %
AK-Einsparung	11 %
Wunsch nach technischem Fortschritt	9 %
Mehr Stallruhe	6 %
Geringerer Platzbedarf	6 %

Quelle: Eigene Darstellung nach KOWALEWSKY, H.-H.; FÜBBEKE, A. [Ermittlung der Melkleistung], S. 48.

¹Mehrfachnennungen möglich.

4.6.2.4 MESKENS UND MATHIJS

In der von MESKENS und MATHIJS 2003 vorgestellten Untersuchung zur Motivation und Charakteristik von Landwirten, in ein vollautomatisches Melkverfahren zu investieren, wurden 2001/ 2002 insgesamt 107 Landwirte in Belgien (13), Niederlande (57), Deutschland (23) und Dänemark (14) zu sozioökonomischen Aspekten des AMV-Einsatzes befragt. Dabei wurden nur Betriebe berücksichtigt, die bereits ein AMV einsetzen und dieses in den Jahren 1998 bis 2001 beschafften.⁸⁹⁵ Die Größe der befragten Betriebe lag im Durchschnitt bei 87,2 Milchkühen, wobei die betrachteten deutschen Betriebe mit durchschnittlich 81,3 Milchkühen den zweit-

⁸⁹⁵ Vgl. MESKENS, L.; MATHIJS, E. [Socio-economic aspects], S. 2.

4 Adoption und Diffusion von AMV

kleinsten Betriebsumfang aufweisen.⁸⁹⁶

Als ein Ergebnis der Studie kann festgehalten werden, dass die meisten Landwirte eine erhoffte Arbeitsentlastung bzw. -reduktion sowie die Möglichkeit einer flexibleren Gestaltung der Arbeitszeit als die wichtigsten Investitionsgründe anführen (siehe Tabelle 3). Des Weiteren wird die Einsparung von Fremdarbeitskräften als Investitionsgrund angeführt. Dieser Kaufgrund ist jedoch für deutsche AMV-Nutzer im Vergleich zu anderen Ländern von nur unterdurchschnittlicher Bedeutung. Vielmehr stellen deutsche Milcherzeuger bei einer Investitionsentscheidung die Option in den Vordergrund, aufgrund der eingesparten Arbeitszeit mehr Zeit für andere unternehmerische Aktivitäten aufwenden zu können, was für eine Diversifizierungsstrategie der Betriebe spricht.

Tabelle 3: Beweggründe zum Kauf von automatisierten Melkverfahren bei MESKENS und MATHIJS¹

Kaufgrund	Anteil der Befragten (in %) ²				
	B	NL	D	DK	Gesamt ³
Arbeitsentlastung/ -reduktion	7,7	33,3	34,7	21,4	28,9
Flexiblere Arbeitszeiten	38,5	19,3	34,7	35,7	27,1
Einsparung von Fremdarbeitskräften	7,7	17,5	8,7	21,4	14,9
Verbesserung der technischen Parameter des Milchentzugs	7,7	14,0	4,3	21,4	12,1
Zukunftsgerichtete Betriebsentwicklung	7,7	12,3	0,0	0,0	7,5
Mehr Zeit für andere unternehmerische Aktivitäten	30,7	3,5	17,4	0,0	9,3

Quelle: MESKENS, L.; MATHIJS, E. [Socio-economic aspects], S. 12.

¹Mehrfachnennungen möglich.

²B = Belgien, NL = Niederlande, D = Deutschland, DK = Dänemark

³gewichteter Mittelwert.

⁸⁹⁶ Vgl. MESKENS, L.; MATHIJS, E. [Socio-economic aspects], S. 9.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Zu einem weiteren Ergebnis der o. g. Studie führt die zusammenfassende Betrachtung aller von MESKENS und MATHIJS erfassten Variablen, wodurch sich folgende Aussagen (Hypothesen) formulieren bzw. statistisch signifikant bestätigen lassen.⁸⁹⁷

- Hypothese 1

Das Alter des Betriebsleiters hat keinen Einfluss auf die Motivation, ein AMV zu beschaffen. Eine Ausnahme besteht hier jedoch bei Landwirten, welche kurz vor dem Ausscheiden aus dem Berufsleben (>60 Jahre) stehen, da bei Ihnen die Frage einer gesicherten Hofnachfolge das Investitionsverhalten maßgeblich beeinflusst.

- Hypothese 2

Landwirte mit einem höheren Bildungsniveau tendieren eher zum Kauf eines AMV.

- Hypothese 3

Landwirte, denen die Meinung der sie umgebenden Umwelt, in erster Linie die Meinung anderer Landwirte über sie selbst wichtig ist, tendieren signifikant häufiger zur Nutzung eines AMV (Prestigebewusstsein).

- Hypothese 4

Aufgrund der strategischen Ausrichtung des landwirtschaftlichen Betriebes (MESKENS und MATHIJS definieren hier die fünf Betriebs-Kategorien Intensivierer, Kostenreduzierer, Wachstumsbetriebe, AK-Minimierer und Diversifizierer) kann keine signifikante Erhöhung des Investitionswillens abgeleitet werden.

Deutsche und dänische Milchviehbetriebe tendieren in erster Linie aus sozialen Gründen dazu, ein AMV zu beschaffen, wohingegen bei niederländischen und belgischen Milcherzeugern ökonomische Gründe bei der Investitionsentscheidung im Vordergrund stehen. Statistisch gesicherte Zusammenhänge zwischen der Betriebsgröße und einer erhöhten Motivation zu einer AMV-Investition konnten - wohl auch aufgrund der Konzeption der Studie - nicht getroffen werden.

⁸⁹⁷ Die Aussagen zur Signifikanz der Zusammenhänge der einzelnen Variablen beruhen auf der Durchführung einer Regressionsanalyse. Vgl.: MESKENS, L.; MATHIJS, E. [Socio-economic aspects], S. 12f.

4.6.3 Erhebung durch HEIN

4.6.3.1 DURCHFÜHRUNG DER ERHEBUNG

Die von HEIN 1999 / 2000 durchgeführte schriftliche Befragung zu Einstellungen von Milcherzeugern im Entscheidungsprozess zum Kauf von Melktechnik sowie zur individuellen betrieblichen Entwicklung erfolgte im Erfassungsgebiet der Nordmilch eG (Bremen), der Hochwald Nahrungsmittel-Werke GmbH (Thalfang), der Vogtlandmilch GmbH (Plauen) sowie im Bereich der Campina AG (Heilbronn) im November 1999. Die Erhebung erfolgte somit in vier Regionen Deutschlands.

Da der Stichprobenumfang (n)⁸⁹⁸ sowohl auf die Varianz als auch auf die Kosten der Untersuchung als Steuerungsvariable einwirkt⁸⁹⁹, wurde ein Stichprobenverfahren gewählt, welches bei geringen Kosten einen Stichprobenumfang von $n > 5.000$ erlaubt.⁹⁰⁰ Da die Auswahl der Untersuchungseinheiten (Gruppe der zu untersuchenden landwirtschaftlichen Betriebe mit Milchviehhaltung) auf den Überlegungen eines vermuteten zukünftigen betrieblichen Wachstums⁹⁰¹ und einer damit möglicherweise einhergehenden Investitionsnotwendigkeit im Bereich der Melktechnik basiert, wurde mittels eines Abschneideverfahrens⁹⁰² grundsätzlich eine Teilgruppe (Schicht) der zum Erhebungszeitpunkt in Deutschland existierenden reichlich 149.000 landwirtschaftlichen Betriebe mit Milchkuhhaltung⁹⁰³ in der Untersuchung

⁸⁹⁸ Unter dem Begriff des „Stichprobenumfanges“ (n) versteht man die Anzahl der Beobachtungs- bzw. Untersuchungseinheiten pro Experiment. Vgl.: HAGER, W.; WESTERMANN, R. [Planung und Auswertung von Experimenten], S. 170.

⁸⁹⁹ Vgl.: BAUSCH, T. [Stichprobenverfahren], S. 46. Zur Durchführung schriftlicher Befragungen vgl.: HAUFER, O. [Schriftliche Befragung].

⁹⁰⁰ Zur Festsetzung des Stichprobenumfanges vgl.: HAAGEN, K.; PERTLER, R. [Methoden], S. 158–164 sowie HAYS, W. [Statistics], S. 279.

⁹⁰¹ Betriebe in schrumpfenden Klassen werden in diesem Zusammenhang als suboptimal, diejenigen in wachsenden Klassen als ökonomisch optimal angesehen. Aufgrund der regional stark inhomogenen Struktur der deutschen Milcherzeugung kann eine einheitliche Erhebungsschwelle, welche sich an der Wachstumsschwelle der Region mit der kleinsten Struktur orientiert, somit in Regionen mit einer größeren Struktur zur Erfassung unerheblicher Betriebssysteme aber auch zu einer erhöhten Fragebogenmortalität führen.

⁹⁰² Das Abschneideverfahren stellt eine Extremform der geschichteten Auswahl dar. Vgl.: HENZE, A. [Marktforschung], S. 31. Zu den Methoden der empirischen Sozialforschung vgl.: MAYNTZ, R.; HOLM, K.; HÜBNER, P. [Einführung], SCHNELL, R.; HILL, B.; ESSER, E.; [Methoden] sowie STIER, W. [Empirische Forschungsmethoden].

⁹⁰³ Hier kann für den Erhebungszeitpunkt nur ein gerundeter Wert angegeben werden, da der Erhebungszeitpunkt dieser Untersuchung und der Zeitpunkt der Totalzählung für Rinder (3. November 1999) von einander abweichen. Vgl.: BMELF [Statistisches Jahrbuch 2000], S. 122 sowie BUNDESREGIERUNG [Agrarbericht 2000], Anhang S. 12.

Grundsätzlich ist bei der Betrachtung von Zahlen der wirtschaftlichen und sozialen Beobachtung darauf hinzuweisen, dass diese nur eine sog. „Scheingenauigkeit“ darstellen, die Realität somit

4 Adoption und Diffusion von AMV

nicht berücksichtigt. Die Abgrenzung der zu betrachtenden landwirtschaftlichen Betriebe folgt dem Umfang der betrieblichen Milcherzeugung. Als Selektionsmerkmal wurde die Höhe der einzelbetrieblichen Referenzmenge gewählt und den Angaben zur Bestandsgröße, wie sie auch in der amtlichen Statistik vorgenommen wird, vorgezogen.⁹⁰⁴ Ausgehend von den Überlegungen zur strukturellen Entwicklung der Milcherzeugung (Wachstumsschwelle) und damit zum einzelbetrieblichen Wachstum sowie daraus abgeleitet zur möglichen Investition in Melktechnik wurde eine jährliche Mindestreferenzmenge von 180.000 kg Milch pro Betrieb als untere Betrachtungsgrenze für die empirische Untersuchung angesehen, was einer errechneten Mindestbestandsgröße von 30,05⁹⁰⁵ Milchkühen pro Halter zum Untersuchungszeitpunkt entspricht.⁹⁰⁶ Die so betrachtete Grundgesamtheit von $n \approx 53.000$ ⁹⁰⁷ milcherzeugenden Betrieben lässt sich, wiederum zum Erhebungszeitpunkt, nach organisatorischen Gesichtspunkten $k = 189$ ⁹⁰⁸ milchverarbeitenden Betrieben mit eigener Anlieferung zuordnen, welche ihrerseits die Auswahlseinheiten (Erhebungseinheiten) bilden. In einem weiteren Schritt wurden, dem hier angewendeten Verfahren des mehrstufigen Stichprobenverfahrens folgend, aus dieser neuen Grundgesamtheit vier Teilgesamtheiten gebildet, aus welchen insgesamt vier Auswahlseinheiten (Klumpen, engl. cluster) - hier Molkereiunternehmen - bewusst ausgewählt wurden.⁹⁰⁹ Auf der somit dargestellten letzten Stufe erfolgt die

nicht genau wiedergeben. STRECKER und WIEGERT weisen auf die Bedingt- und Begrenztheit wirtschaftsstatistischer Daten in bezug auf die Abbildung der ökonomischen Realität hin. Vgl.: STRECKER, H.; WIEGERT, R. [Wirtschaftsstatistische Daten], S. 114–117.

⁹⁰⁴ Da die Verteilung der Fragebögen mittels Molkereiunternehmen erfolgte und diesen lediglich die erfasste Milchmenge bzw. die betriebliche Referenzmenge als Kriterium zur Einordnung der Betriebsgrößen zur Verfügung steht, wurde die beschriebene Vorgehensweise gewählt. Einschränkung gilt es anzumerken, dass die einzelbetriebliche Referenzmenge lediglich eine Aussage über die - zum Stichtag der Erfassung - maximal abgabefreie Vermarktungsmenge darstellt. Über die dann im Milchwirtschaftsjahr tatsächlich erfolgte Ausschöpfung der Referenzmenge (also die tatsächliche Produktion) kann keine Aussage getroffen werden.

⁹⁰⁵ Grundlage dieser Berechnung ist die durchschnittliche Milchleistung je Kuh von 5990 kg im Jahre 1999. Vgl.: ZMP [Marktbilanz-Milch 2000], S. 21.

⁹⁰⁶ Die tatsächliche Erfassungsgrenze könnte jedoch unter diesem errechneten Wert zu sehen sein, da im Bereich dieser Bestandesgröße – zumindest im Falle von Betrieben mit Milchleistungsprüfung - mit steigender Herdengröße auch die Milchleistung je Tier ansteigt. Vgl.: DOLUSCHITZ, R.; TRUNK, W. [Betriebswirtschaftliche Beurteilung], S. 258 sowie BMELF [Statistisches Jahrbuch 2000], S. 137.

⁹⁰⁷ Vgl.: STATISTISCHES BUNDESAMT [Viehbestand und tierisches Erzeugung], Excel-Tabelle.

⁹⁰⁸ Vgl.: ZMP [Milchpreisvergleich 1999], S. 10.

⁹⁰⁹ Aufgrund einer zu vermutenden höheren Homogenität der Merkmalsausprägungen in den Klumpen als zwischen den Klumpen kann auch in dieser Stufe von einer geschichteten Zufallsauswahl gesprochen werden. Vgl.: FLEISCHER, K. [Die geschichtete Zufallsauswahl], S. 818. Die Zuordnung der hier gewählten Vorgehensweise zu den willkürlichen (zufälligen) bzw. bewussten Auswahlverfahren kann in der Gesamtheit des Verfahrens nicht eindeutig erfolgen. Eine

Ziehung der Untersuchungseinheiten in Form einer Vollerhebung.⁹¹⁰

Bei der Auswahl der Erhebungseinheiten (Klumpen) wurde darauf geachtet, dass das in der Realität vorliegende Verhältnis der regionalen Merkmalsausprägungen sich auch in der regionalen Stichprobe widerspiegelt. Insgesamt soll die gewählte Stichprobe auch eine erwartungstreue Merkmalsausprägung für das gesamte Betrachtungsgebiet der Bundesrepublik Deutschland erzeugen. So sollen die vier Erhebungsgebiete eine relativ höhere innere Homogenität aufweisen als jene zwischen den Klumpen. Grundsätzlich darf es jedoch sowohl regional als auch für das gesamte Erhebungsgebiet zu keinem nicht zu akzeptierenden positiven oder negativen Klumpeneffekt kommen.

Neben den erwähnten Kriterien an die Stichprobenqualität wurden weitere Merkmale bei der Auswahl der Molkereiunternehmen betrachtet, bei welchen ein Einfluss auf die Rücklaufquote vermutet wurde. Der Milchzahlungspreis sollte bei einer Jahresanlieferungsmenge von 150.000kg nicht wesentlich unter dem regionalen Vergleichspreis liegen. Im Falle einer mengenabhängigen Preisgestaltung sollte der Milchzahlungspreis mindestens den regionalen Vergleichspreis erreichen.⁹¹¹ Der gewählte Stichprobenumfang von 5.210 milcherzeugenden Betrieben liegt bei 9,8% der betrachteten Grundgesamtheit.

Aufgrund der hohen Rücklaufquote von ca. 40,4% sowie der Anwendung der beschriebenen Auswahlkriterien konnten insgesamt 2.073 Betriebe in der Analyse Berücksichtigung finden.⁹¹² Durchschnittlich werden von den so berücksichtigten Betrieben ca. 67 Milchkühe gehalten. Die einzelbetriebliche Referenzmenge liegt hier im Mittel bei 444.496 kg, was einer gemittelten Tierleistung von 6.596 kg pro Jahr entspricht.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Untersuchung stellt insbesondere die Zahl der gehaltenen Milchkühe und damit die Größe des Betriebes, eine wesentliche

einheitliche Einteilung der Verfahren findet sich in der Literatur nicht. Vgl.: BAUSCH, T. [Stichprobenverfahren], S. 37.

⁹¹⁰ Der Vorteil des hier gewählten Verfahrens der Klumpenauswahl besteht im Vergleich zur reinen Zufallsauswahl in der Zeit- und Kostenersparnis sowie darin, dass Adressenlisten entbehrlich sind. Vgl. hierzu auch: LEINER, B. [Stichprobentheorie], S. 121–123.

⁹¹¹ Hierbei wurde eine maximale Differenz von bis zu 1,5 Pf./kg ($\cong 0,75$ ct) angesetzt. Vgl.: Anhang A-2.

⁹¹² Fünf Betriebe verfügten über eine Referenzmenge von weniger als 180.000 kg. Diese verbleiben jedoch aufgrund der Variablen „Anzahl Milchkühe“ im Untersuchungssample.

4 Adoption und Diffusion von AMV

unabhängige Variable dar. Vergleicht man die Betriebsgrößenstruktur im gesamten Bundesgebiet mit der Gruppe der erfassten Betriebe so kann festgestellt werden, dass in der Untersuchung die Betriebe in den Gruppen 50 bis 99 sowie 100 bis 199 Tiere überrepräsentiert sind (Tabelle 4). Dies ist zum einen auf die starke Gewichtung des norddeutschen Erhebungsgebietes in der Befragung zurückzuführen.⁹¹³ Zum anderen zeigt sich, dass vor allem Betriebe in dieser Größenklasse eine höhere Antwortbereitschaft - aufgrund einer vermuteten höheren Betroffenheit - besitzen. Im Gegenzug sind die Betriebe der unteren Größenklasse (30 bis 49 Tiere) in der Betrachtung unterrepräsentiert.

Tabelle 4: Betriebsgrößenstruktur der Betriebe mit Milchkuhhaltung in Deutschland im Vergleich zu den in der Auswertung erfassten landwirtschaftlichen Betrieben (30 Milchkühe und mehr)¹

Betriebsgröße	Zahl der Betriebe				
	Insgesamt (Bundesgebiet)		erfasste Betriebe		Erfasster Anteil der Größen- klasse
	absolut	Prozent	absolut	Prozent	
Milchkühe					Prozent
30 - 49	31528	59,5	452	21,8	1,43
50 - 99	17578	33,1	1435	69,2	8,16
100 - 199	2284	4,3	172	8,3	7,53
200 - 299	607	1,2	6	0,3	0,99
über 300	1001	1,9	8	0,4	0,80
Summe/ Gesamt	53053	100	2073	100	3,91

Quelle: STATISTISCHES BUNDESAMT (Viehbestand und tierisches Erzeugnis), Excel-Tabelle sowie eigene Erhebung und Darstellung.

¹⁾ Angaben beziehen sich auf das Erhebungsjahr 1999.

4.6.3.2 ERGEBNISSE

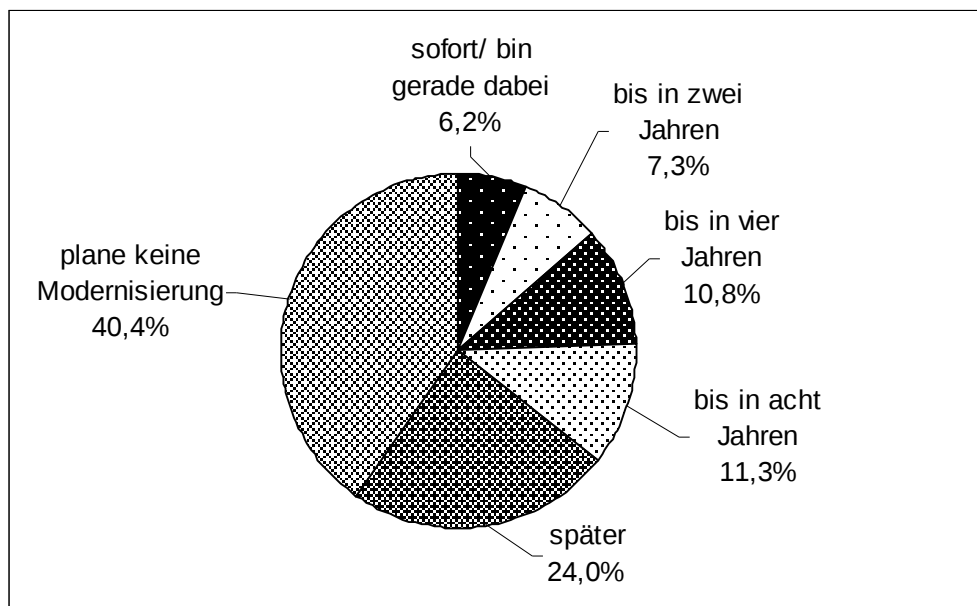
Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass 35,6 % (n = 718) der Betriebe, die sich zur Frage eines möglichen Investitionszeitpunktes äußerten, eine Investition im Bereich der Melktechnik im Zeitraum von bis zu acht Jahren nach der Befragung planen (Abbildung 21). Lediglich 6,2 % (n = 124) der Betriebe befinden sich zum

⁹¹³ Vgl. Anhang A-1 sowie Anhang A-3.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Zeitpunkt der Befragung in einem Investitionsprojekt. 7,3 % (n = 148) der Befragten stehen mit einem Investitionszeitraum von bis zu zwei Jahren kurz vor einer Investition. Weitere 24,0 % (n = 484) der Betriebe, die erst für den Zeitraum nach mehr als acht Jahren ein Ersetzen der bisherigen Melktechnik planen, betrachten eine Investition in Melktechnik zumindest als Zukunftsoption und stehen dem Melktechnikmarkt noch als potentielle Nachfrager zur Verfügung. Hingegen planen 41,2 % (n=814) der befragten Betriebsleiter keinerlei Modernisierungsmaßnahmen. Diese Gruppe von Betrieben ist zum Zeitpunkt der Befragung selbst als potentielle Nachfrager aus dem Markt für Melktechnik ausgetreten.

Abbildung 21: Ersetzen der bisherigen Melktechnik durch Um- oder Neubau in Jahren (n = 2016)



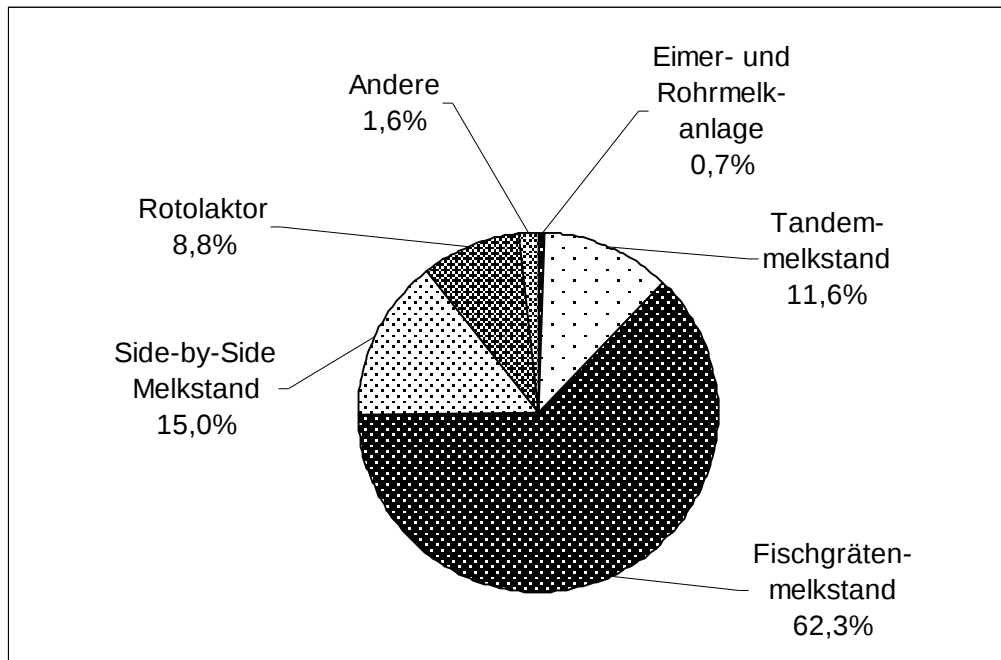
Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung.

Würde eine Investition durchgeführt, würden sich mit 1.755 Betriebsleitern 84,7 % aller Betriebe für eine konventionelle Melktechnik entscheiden. Da jedoch 40,4 % der Betriebsleiter keine Angaben zu einem möglichen Investitionszeitpunkt abgeben wollten, haben sich mit 1.342 Betriebsleitern nur 64,7 % der Befragten zu einer möglichen Technikwahl geäußert (Abbildung 22). Knapp zwei Drittel der Betriebsleiter (62,3 %, n = 836) würden dabei Fischgrätenmelkstände vor allen anderen Technik-Alternativen bevorzugen. Side-by-Side Melkstände würden von 15 % der Betriebe (n = 201) gekauft werden, gefolgt von Tandemmelkständen mit 11,6% (n = 156) der Betriebe. In Karussellmelkstände würden 8,8 % und somit 118 Betriebs-

4 Adoption und Diffusion von AMV

leiter investieren. Die übrigen Kategorien sind mit insgesamt 31 Nennungen ohne Bedeutung.

Abbildung 22: Potentielle Investition bei Wunsch nach konventioneller Melktechnik
(n = 1.342)



Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung.

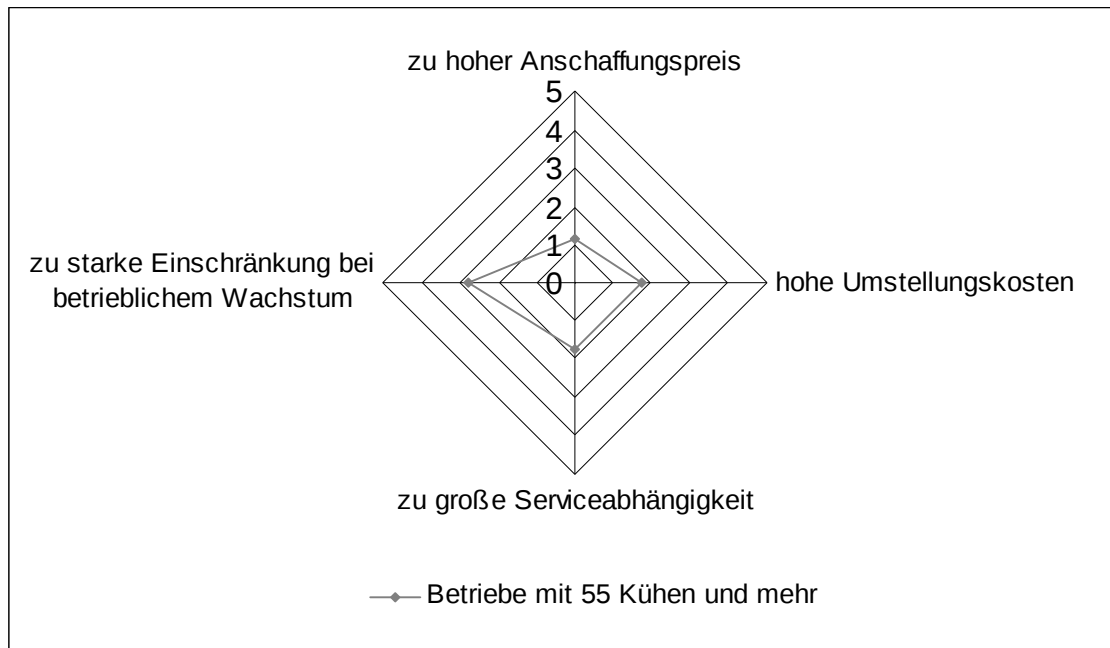
Wird aus dieser Stichprobe die Gruppe der Betriebe mit unter 55 Milchkühen abgeschnitten, ergibt sich eine Zahl von 945 Betrieben, deren Einstellungen bzgl. Melktechnik und Milchviehhaltung aufgrund der Betriebsgröße im Hinblick auf eine mögliche Übernahme von AMV von besonderer Relevanz sind (Abbildung 23). Gegen eine Anschaffung von AMV sprechen aus Sicht dieser Betriebe zum Zeitpunkt der Befragung insbesondere

1. der Anschaffungspreis (n = 925, Wert 1,16),
2. erwartete hohe Umstellungskosten (n = 866, Wert 1,75),
3. eine zu große Serviceabhängigkeit (n = 882, Wert 1,75) sowie die
4. Befürchtung einer zu starken Einschränkung des betrieblichen Wachstums aufgrund der ausgeprägten sprungfixen Kostenverläufe im Falle von AMV (n = 836, Wert 2,78).

4 Adoption und Diffusion von AMV

Abbildung 23: Gründe gegen die Anschaffung eines AMV (Betriebe mit Wahl für *konventionelle* Melktechnik sowie 55 Kühe und mehr)

(Zustimmung: „voll zu“ = 1 (...) „gar nicht zu“ = 5, n = 945)



Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung.

Besonders aufschlussreich für die Beschreibung der Zukunftserwartungen dieser Betriebsgruppe sind die nachfolgend aufgeführten Bewertungen verschiedener Statements zu sozialen und gesellschaftlichen, arbeitswirtschaftlichen, betriebsorganisatorischen und technischen Aspekten der Milchviehhaltung (Abbildung 24).

(1) Soziale und gesellschaftliche Aspekte

- (a) „Der Melkroboter kann dazu beitragen, dass Landwirte besser einen Ehepartner finden.“ (Ehepartner; n = 938, Wert 3,59)
- (b) „Bisher haben sich Landwirte vorwiegend aus Prestige einen Melkroboter gekauft.“ (Prestige; n = 936, Wert 3,29)

Die sozialen und gesellschaftlichen Aspekte als Adoptionsgrund für AMV werden von diesen Betriebsleitern als unterdurchschnittlich bewertet. Vorteile in der Hofnachfolge und Vorteile im Hinblick auf die Partnersuche werden kaum gesehen. Auch wird den bisherigen Übernehmern kein Prestigegewinn zugesprochen.

(2) Arbeitswirtschaftliche Aspekte

- (a) „Es wird in Zukunft schwierig sein, geeignetes Melkpersonal zu finden.“ (Melkpersonal; n = 943, Wert 2,11)
- (b) „In Zukunft werden ausreichend viele Saison- und Aushilfskräfte in der Landw. zur Verfügung stehen.“ (Saisonarbeitskräfte; n = 941, Wert 3,84)
- (c) „Aushilfskräfte eignen sich nicht für die Melkarbeit.“ (Aushilfskräfte; n = 939, Wert 2,24)

Die Verfügbarkeit von geeigneten Arbeitskräften für den Bereich Milchviehhaltung wird als kritisch eingestuft. So werden die beiden Statements, dass zukünftig weder geeignetes Melkpersonal noch Saisonarbeitskräfte in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen, intensiv unterstützt. Zudem werden Aushilfskräfte als ungeeignet angesehen, die Melkarbeit zu verrichten. Hieraus kann gefolgert werden, dass die Betriebsleiter der überdurchschnittlich großen Betriebe insbesondere im Bereich der Arbeitswirtschaft eine zentrale Herausforderung in der zukünftigen individuellen betrieblichen Entwicklung erkennen. Dies legt den Schluss nahe, dass von diesen Betrieben zukünftig vermehrt arbeitssparende technische Fortschritte nachgefragt werden, bzw. verstärkt organisatorische Maßnahmen innerhalb der Betriebe zur Umwidmung von Arbeitskapazitäten entsprechend des jeweiligen Grenznutzes ergriffen werden.

(3) Betriebsorganisatorische Aspekte

- (a) „Vor allem Familienbetriebe profitieren vom Melkroboter.“ (Familienbetriebe; n = 932, Wert 2,63)
- (b) „Vor allem Betriebe mit einem hohen Anteil an Fremdarbeitskräften profitieren vom Melkroboter.“ (Lohnarbeitsbetriebe; n = 939, Wert 2,66)

Grundsätzlich korrespondierend zu den Aspekten betreffend die Arbeitswirtschaft sind die Statements zum zukünftigen betrieblichen Einsatzumfeld von AMV. Die Beurteilungen sind hier jedoch mit Werten von 2,63 bzw. 2,66 leicht unterdurchschnittlich sowie indifferent. Der vermehrte Einsatz von AMV wird offenbar nicht mit einer Verbesserung der arbeitswirtschaftlichen

4 Adoption und Diffusion von AMV

Situation in den Betrieben in Relation gesetzt. AMV werden somit offensichtlich nicht von diesen Betriebsleitern als relevanter arbeitssparender technischer Fortschritt wahrgenommen.

(4) Diffusionsbezogene Aspekte

(a) „Der Melkroboter ist eine Technik, die sich in Deutschland durchsetzen wird.“ (Technik; n = 940, Wert 2,87)

(b) „Die Einführung des Melkroboters wird den Strukturwandel beschleunigen.“ (Strukturwandel; n = 941, Wert 2,82)

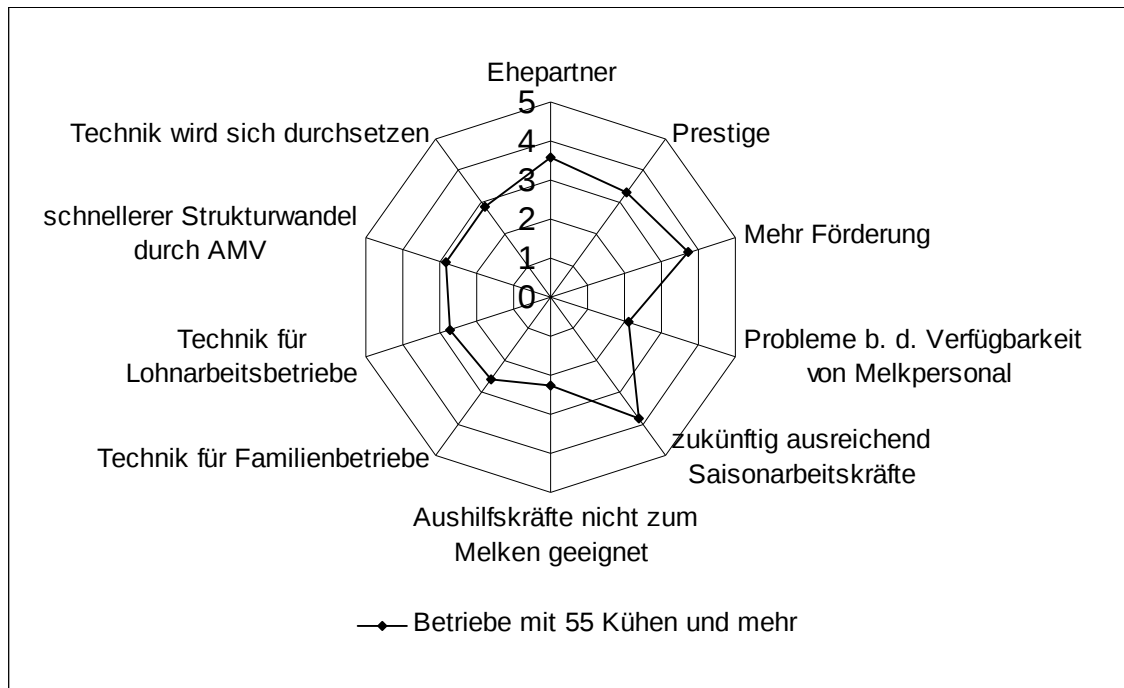
Die Einschätzung der Diffusion von AMV wird, analog der indifferenten Bewertung des zukünftigen Einsatzfeldes der Technik, eher zurückhaltend bewertet. Eine eindeutige Meinung zur Durchsetzung von AMV liegt bei der Gruppe der Betriebsleiter, die sich im Falle einer Investition für eine konventionelle Technik entscheiden würden, nicht vor. Folgerichtig ergeben sich aufgrund der Einführung von AMV in der Beurteilung dieser Gruppe von Milcherzeugern keine wesentlichen Beeinflussungen der strukturellen Anpassungsprozesse im Bereich der Milchviehhaltung.

Da mit dem Einsatz von AMV keine - aus Sicht dieser Betriebsleiter – Problemlösungskompetenz verbunden wird und sich die Betriebe daher als potentielle Nachfrager für konventionelle Melktechnik darstellen, erhält das Statement „Die Politik sollte die Einführung des Melkroboters mit einem speziellen Förderprogramm unterstützen“ mit einem Wert von 3,66 (Förderung; n = 938) erwartungsgemäß eine geringe Unterstützung.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Abbildung 24: Statements zum Thema Melktechnik und Milchviehhaltung (Betriebe mit Wahl für *konventionelle* Melktechnik sowie 55 Kühe und mehr)

(Zustimmung: „voll zu“ = 1 (...) „gar nicht zu“ = 5, n = 945)



Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung.

Eine im Gegensatz zu den Nicht-Übernehmern differenziertere und in ihren Ausprägungen teilweise andere Gewichtung ergibt die Betrachtung der Statements der bisherigen AMV-Nutzer und der Betriebe mit einem AMV-Anschaffungswunsch (Abbildung 25). 220 Befragte und somit 10,6 % der Betriebsleiter würden sich zum Befragungszeitpunkt bereits für ein AMV entscheiden. In vier Betrieben kam zum Befragungszeitpunkt ein AMV zum Einsatz.⁹¹⁴

(1) Soziale und gesellschaftliche Aspekte

- (a) „Der Melkroboter kann dazu beitragen, dass Landwirte besser einen Ehepartner finden.“ (Ehepartner)
- (b) „Bisher haben sich Landwirte vorwiegend aus Prestige einen Melkroboter gekauft.“ (Prestige)

Ein Prestigegewinn als Übernahmeargument wird sowohl von den bisherigen

⁹¹⁴ Dabei handelte es sich jeweils um ein Gerät des Typs Lely „Astronaut“.

4 Adoption und Diffusion von AMV

Übernehmern (n = 4, Wert 4,25) als auch von den Betrieben mit AMV-Anschaffungswunsch (n = 213, Wert 3,63) nachvollziehbar abgelehnt. Zwar mag es durchaus sein, dass diese Gruppe der Innovatoren und potentiellen frühen Übernehmer in ihrem jeweiligen Umfeld eine herausgehobene soziale Stellung einnehmen, jedoch wird dies von dieser Gruppe nicht direkt für sich reklamiert. Die stärkere Ablehnung dieses Arguments bei der Gruppe der bisherigen AMV-Nutzer unterstreicht dies zusätzlich. Im Hinblick auf das Argument „Ehepartner“ ergibt sich bei beiden Gruppen mit nahezu identischen Werten eine eher skeptische Einstellung (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 3,0; Kaufwillige: n = 215, Wert 3,11).

(2) Arbeitswirtschaftliche Aspekte

- (a) „Es wird in Zukunft schwierig sein, geeignetes Melkpersonal zu finden.“ (Melkpersonal)
- (b) „In Zukunft werden ausreichend viele Saison- und Aushilfskräfte in der Landw. zur Verfügung stehen.“ (Saisonarbeitskräfte)
- (c) „Aushilfskräfte eignen sich nicht für die Melkarbeit.“ (Aushilfskräfte)

Die zukünftige Verfügbarkeit von geeigneten Arbeitskräften wird von der Gruppe der Innovatoren und potentiellen frühen Übernehmer nochmals kritischer bewertet, als dies bereits bei der Gruppe der Nicht-Übernehmer der Fall ist. Mit den Ausprägungen 2,00 bei AMV-Nutzern (n = 4) und 1,79 (n= 215) bei potentiellen Übernehmern für das Argument „Melkpersonal“, 2,25 bei AMV-Nutzern (n = 4) und 2,13 (n= 214) bei potentiellen Übernehmern für das Argument „Aushilfskräfte“ und 4,75 bei AMV-Nutzern (n = 4) und 4,01 (n= 214) bei potentiellen Übernehmern für das Argument „Saisonarbeitskräfte“ sehen die Innovatoren und möglichen frühen Übernehmer offensichtlich im Bereich der Arbeitswirtschaft eine große Herausforderung für die zukünftige Entwicklung ihrer Betriebe.

(3) Betriebsorganisatorische Aspekte

- (a) „Vor allem Familienbetriebe profitieren vom Melkroboter.“ (Familienbetriebe)
- (b) „Vor allem Betriebe mit einem hohen Anteil an Fremdarbeitskräften

profitieren vom Melkroboter.“ (Lohnarbeitsbetriebe)

Entsprechend der Einschätzung von Innovatoren (n = 4, Wert 1,50) und möglichen frühen Übernehmern n = 215, Wert 1,91), dass ein Einsatz von AMV vorwiegend Erleichterungen im Bereich der Arbeitswirtschaft hervorruft (Unabhängigkeit von familienfremden Arbeitskräften, höhere zeitliche Flexibilität, hohe Arbeitszeiterparnis und eine verbesserte Gesundheit des Melkpersonals), werden vollautomatische Melksysteme als nahezu ideale Technik für Familienbetriebe angesehen. Diese für Familienbetriebe gleichlautende Einschätzung spiegelt sich in der Bewertung des AMV-Einsatzes in Lohnarbeitsbetrieben nicht wider (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 4,50; Kaufwillige: n = 214, Wert 2,16). Zwar konnte gezeigt werden, dass beide Gruppen mit dem Einsatz eines AMV eine hohe Arbeitszeiterparnis verbinden, dennoch bewerten bisherige Nutzer die Eignung von AMV für Lohnarbeitsbetriebe als nahezu nicht gegeben, wohingegen mögliche frühe Übernehmer hier eine deutlich positivere Einschätzung abgeben. Eine Erklärung dieser differierenden Bewertung kann darin gefunden werden, dass die AMV-Nutzer aufgrund ihrer bisherigen praktischen Erfahrungen die Wirtschaftlichkeit des AMV-Einsatzes, insbesondere im Hinblick auf die tatsächliche Einsparung von Lohnkosten, als weniger gegeben ansehen als dies bei AMV-Interessierten der Fall ist. Hieraus kann auch gefolgert werden, dass die Investitionsentscheidung der bisherigen AMV-Nutzer für die neue Melktechnik nicht von Wirtschaftlichkeitserwägungen geprägt war.

(4) Diffusionsbezogene Aspekte

- (a) „Der Melkroboter ist eine Technik, die sich in Deutschland durchsetzen wird.“ (Technik)
- (b) „Die Einführung des Melkroboters wird den Strukturwandel beschleunigen.“ (Strukturwandel)

Entsprechend der insgesamt sehr positiven Bewertung von AMV – insbesondere auch vor dem Hintergrund einer bereits getätigten bzw. einer beabsichtigten Übernahme der Technik – ergibt sich erwartungsgemäß die Einschätzung, dass sich AMV am Markt mit einer hohen Wahrscheinlichkeit durchsetzen werden (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 1,50; Kaufwillige: n = 215,

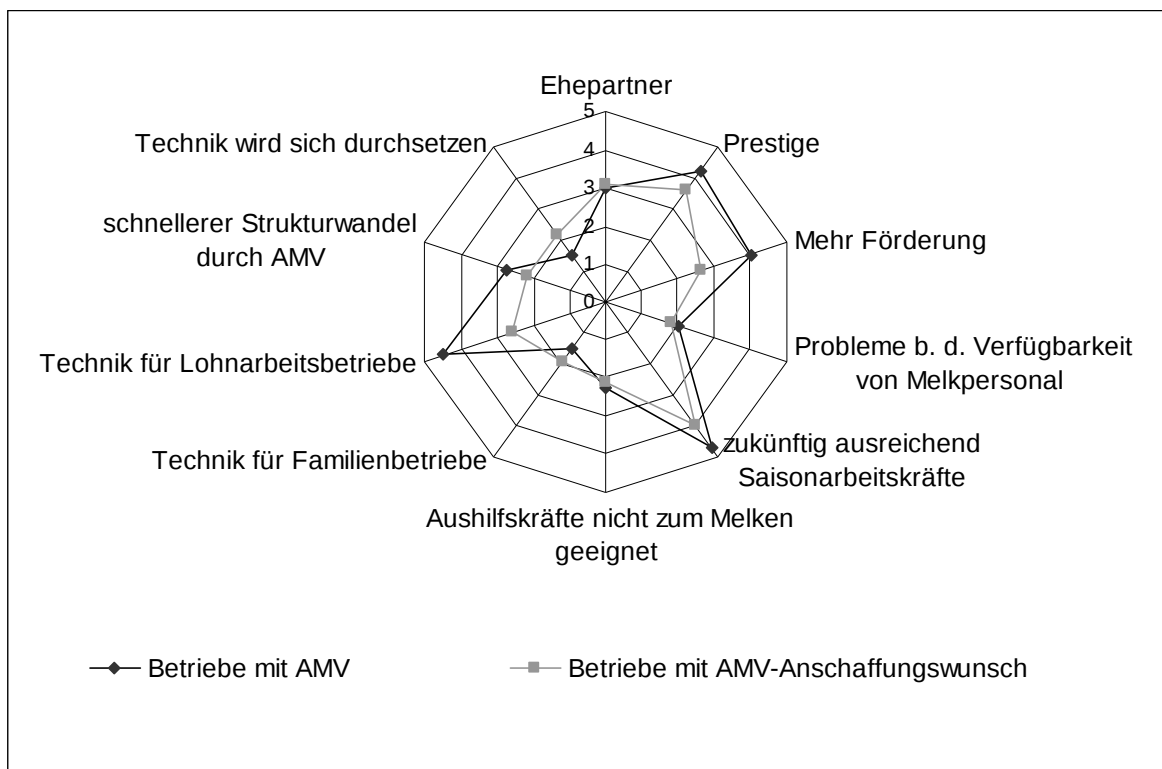
4 Adoption und Diffusion von AMV

Wert 2,20). Zudem teilen AMV-Innovatoren und potentielle AMV-Nutzer die Einschätzung, dass sich Betriebe mit AMV im Strukturwandel besser behaupten können als Betriebe ohne AMV.

Auch in der Forderung an die Politik, dass „(...) die Einführung des Melkroboters mit einem speziellen Förderprogramm (..)“ unterstützt werden sollte (Mehr Förderung), ergeben sich unterschiedliche Ausprägungen zwischen AMV-Nutzern und Kaufinteressierten (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 4; Kaufwillige: n = 216, Wert 2,67). So sehen die Pionierunternehmer es im Gegensatz zu der Gruppe der frühen Übernehmer als nicht notwendig an, dass die Gesellschaft die Durchsetzung dieser Innovation zusätzlich fördert. Vielmehr herrscht offensichtlich die Meinung vor, dass sich die „zukunftsgerichteten“ Milcherzeuger ohnehin mit dieser Technik durchsetzen werden.

Abbildung 25: Statements zum Thema Melktechnik und Milchviehhaltung (AMV-Anwender sowie Kaufwillige)

(Zustimmung: „voll zu“ = 1 (...) „gar nicht zu“ = 5, n = 4 bzw. n = 220)



Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung.

4 Adoption und Diffusion von AMV

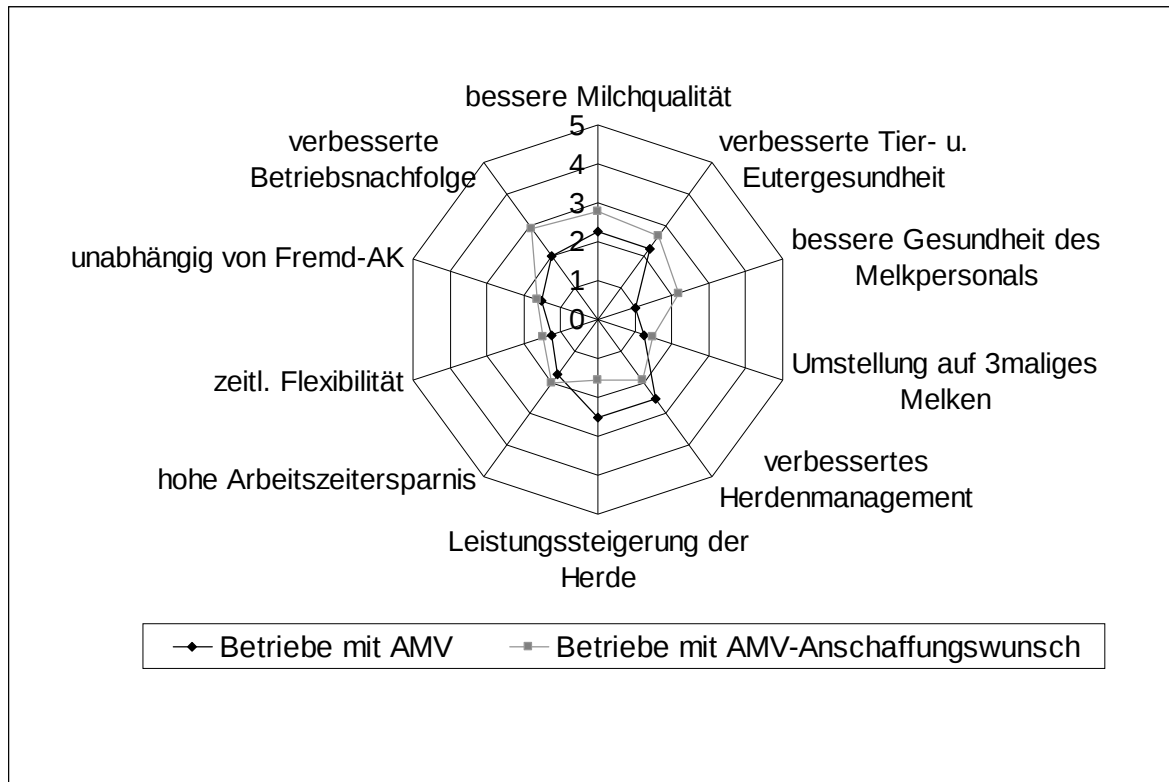
Die Einschätzung der bisherigen AMV-Nutzer sowie der potentiellen Übernehmer zur zukünftigen arbeitswirtschaftlichen Situation in der Milchviehhaltung findet ihren Niederschlag in den Argumenten zum Kauf eines AMV (Abbildung 26). So werden vor allem die arbeitswirtschaftlichen Aspekte „unabhängig von Fremd-AK“ (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 1,50; Kaufwillige: n = 183, Wert 1,63), „zeitliche Flexibilität“ (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 1,25; Kaufwillige: n = 181, Wert 1,49) und „hohe Arbeitszeitersparnis“ (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 1,75; Kaufwillige: n = 183, Wert 2,04) als primäre Übernahmegründe angeführt. Durch das Argument „bessere Gesundheit des Melkpersonals“ (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 1,00; Kaufwillige: n = 173, Wert 2,17) insbesondere bei bisherigen AMV-Nutzern wird zudem das Statement gestützt, dass AMV sich weniger in Betrieben mit Lohnarbeitsverfassung als in Familienbetrieben durchsetzen werden, da bei letztgenannter Gruppe oftmals der Betriebsleiter oder ein Familienmitglied die Melkarbeit selbst verrichtet. Dem Bereich Arbeitswirtschaft ist auch die Aussage zuzuordnen, dass der Einsatz von AMV bei den Betrieben als hilfreich angesehen wird, die auf das arbeitswirtschaftlich anspruchsvolle dreimalige tägliche Melken umstellen wollen (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 1,25; Kaufwillige: n = 177, Wert 1,47).

Im Bereich der Vorteilhaftigkeit eines Einsatzes von AMV im Hinblick auf eine sichere Betriebsnachfolge ergeben unterschiedliche Einschätzungen zwischen der Gruppe der bisherigen Nutzer (n = 4, Wert 2,00) sowie der potentiellen Übernehmer (n = 169, Wert 2,89): Die Pionierunternehmer sehen in ihrer Übernahmeentscheidung offenbar eine wesentliche Maßnahme zur Zukunftssicherung ihres Betriebes.

Weniger wichtig, aber dennoch mit überdurchschnittlichen Gewichtungen werden die Aspekte „bessere Milchqualität“ (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 2,25; Kaufwillige: n = 178, Wert 2,77) und „verbesserte Tier- und Eutergesundheit“ (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 2,25; Kaufwillige: n = 176, Wert 2,67) bewertet. Im Hinblick auf die Gesichtspunkte „Leistungssteigerung der Herde“ (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 2,50; Kaufwillige: n = 182, Wert 1,91) sowie „verbessertes Herdenmanagement“ (AMV-Nutzer: n = 4, Wert 2,50; Kaufwillige: n = 182, Wert 1,91) werden von Kaufinteressenten größere Erwartungen mit dem Einsatz von AMV verbunden, wie dies von den Pionierunternehmern bestätigt wird. Dennoch werden auch für diese Argumente überdurchschnittliche Gewichtungen genannt.

Abbildung 26: Gründe zum Kauf eines AMV (AMV-Anwender sowie Kaufwillige)

(Zustimmung: „voll zu“ = 1 (...) „gar nicht zu“ = 5, n = 4 bzw. n = 220)



Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung.

Insgesamt zeigt sich als Ergebnis dieser Erhebung, dass es insbesondere arbeitswirtschaftliche Aspekte im Bereich der landwirtschaftlichen Familienbetriebe sind, die Landwirte zur Übernahme von AMV bewegen. Dennoch hat sich gezeigt, dass sich ca. 85 % der Betriebsleiter bei einer anstehenden Investitionsentscheidung nicht für ein AMV sondern für eine konventionelle Melktechnik entscheiden würden. Gleichwohl ist der Anteil von 10,6 % der Betriebsleiter, die sich im Falle einer Investition für ein AMV entscheiden würden, höher als der Marktanteil von AMV zum Zeitpunkt der Befragung welcher bei 3% Marktanteil lag, entspricht aber dem derzeit für AMV festgestellten Marktzahlen.⁹¹⁵

⁹¹⁵ Vgl.: o. V. [Melkroboter-Boom], S. R4.

4.6.4 Motivationsgründe zum Kauf eines AMV

Zusammenfassend können die Motivationsgründe zum Kauf eines vollautomatischen Melkverfahrens - folglich die mit einer Investition in ein AMV verbundenen Erwartungen - in drei Kategorien untergliedert werden:

1. Soziale Gründe zur AMV-Adoption

Beweggründe, die direkt aus der Stellung eines Landwirtes in Relation zu dem ihn umgebenden sozialen Gefüge heraus ableitbar sind, können als untergeordnete Motivationsgründe zum Kauf eines AMV angesehen werden. Dies trifft vor allem für das Argument „Prestige“ zu. Dem Aspekt der einfacheren Partner-suche im Hinblick auf eine Betriebsnachfolge wird eine höhere Bedeutung beigemessen, wobei von den Milcherzeugern auch diesem Argument im Vergleich zu anderen Investitionsgründen eine unterdurchschnittliche Bedeutung beigemessen wird.

Eine Verbesserung der sozialen Situation des Milchviehhalters im erweiterten Sinne wird dennoch insbesondere von Familienbetrieben in der Verbesserung der arbeitswirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Milchviehhaltung gesehen. Beide Aspekte sind – insbesondere in dieser Betriebsform - eng miteinander verbunden bzw. bedingen sich gegenseitig. Mit dem AMV wird insgesamt eine höhere Lebensqualität verbunden.

2. Arbeitswirtschaftliche Gründe

Arbeitswirtschaftliche Beweggründe zum Kauf von AMV kommen in erster Linie in der Erwartung der Reduzierung der Arbeitsintensität und in einer Steigerung der Flexibilität des Arbeitseinsatzes zum Ausdruck. Die Möglichkeit, mehr Zeit für andere Aktivitäten zu nutzen, stellt einen weiteren mit dem Einsatz von AMV verbundenen positiven Aspekt dar.

3. Betriebsorganisatorische Gründe

Im Hinblick auf die zukünftige Betriebsentwicklung kommt bei Familienbetrieben die Erwartung zum Ausdruck, durch den Einsatz von AMV im Falle einer betrieblichen Expansion eine größere Unabhängigkeit insbesondere von familienfremden Arbeitskräften erlangen zu können. Aufgrund einer insgesamt geringen Abhängigkeit der Milchviehhaltung vom Arbeitskräfteeinsatz wird von Familien-

4 Adoption und Diffusion von AMV

betrieben erwartet, die Milchviehhaltung in dem bisherigen betrieblichen Organisationsmodell auch in Zukunft fortführen zu können.

4. Ökonomische Gründe zur AMV-Adoption

Die ökonomischen Gründe zur AMV-Adoption finden im Wesentlichen Ausdruck in der Erwartung einer (möglicherweise) gesteigerten Milchleistung, einer verbesserten Information zum Herdenmanagement, einer verbesserten Tier- und Eutergesundheit, einer möglichen Ausweitung der betrieblichen Aktivitäten aufgrund eingesparter Arbeitszeit in der Tierhaltung, einer verbesserten Arbeitswirtschaft und einer Reduzierung bzw. einer größeren Unabhängigkeit von Fremdarbeitskräften. Die ökonomischen Gründe treten dabei jedoch insbesondere gegen über den arbeitswirtschaftlichen Aspekten in den Hintergrund.

Alles in allem stellt die erwartete Arbeitseinsparung und -erleichterung die Hauptmotivation zum Kauf eines vollautomatisierten Melkverfahrens dar.

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Einfluss von Substitutionsbeziehungen auf die Diffusion von AMV

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Diffusionsprozesse verschiedener substitutiver Techniken nicht isoliert von einander betrachtet werden können, sondern in der Realität mit einander verbunden sind. Zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung neuer Produkte bzw. Investitionsgüter konkurrieren die Techniken der verschiedenen Jahrgänge („Generationen“) miteinander, wobei zu beobachten ist, dass der Substitutionsprozess in aller Regel nicht zu einer - wie oben idealtypisch dargestellt - vollständigen Verdrängung der alten durch die neue innovative, das heißt überlegene Technik führt.

Eine vollkommene Verdrängung der bisherigen konventionellen Melktechnik durch die neue Technik der automatisierten Melkverfahren - d. h. eine vollständige totale Diffusion - würde daher nur dann stattfinden, wenn die neue Melktechnik allen anderen Melkverfahren im Hinblick auf alle produkt- und prozessspezifischen Merkmale gleichzeitig überlegen wäre. In allen anderen Fällen, und dies kann auch für den vorliegenden Untersuchungsgegenstand angenommen werden, ist der Substitutionsprozess als Anpassung an ein Gleichgewicht zu verstehen. Dabei bilden sich gleichgewichtige Preis- und Qualitätsrelationen heraus, mit dem Ergebnis, dass bei dem Erreichen eines gleichgewichtigen Zustands keine weitere Substitution vorgenommen wird.

Verfügen alle Milcherzeuger über vollständige Informationen hinsichtlich aller alternativen Melktechnik-Verfahren, so kommen alle Anpassungsprozesse unter der strengen Annahme der Gewinnmaximierungshypothese dann zu einem Ende, wenn der relative Preis des AMV zur konventionellen Melktechnik (p_{AMV}/p_{Konv}) gleich deren relativer Leistungsfähigkeit (L_{AMV}/L_{Konv}) ist. Wird jedoch von dem realitätsnäheren Fall ausgegangen, dass lediglich unvollkommene Information über die Verfahrensalternativen – insbesondere über AMV – besteht, gilt für gewinnmaximierende Landwirte grundsätzlich folgende Entscheidungsregel:

$$(5.1) \quad p_{AMV} / p_{Konv} \leq L_{AMV} / L_{Konv} .$$

Das in Ungleichung (5.1) dargestellte Ungleichgewicht bzgl. des Einsatzes von AMV besteht dabei für den Fall, dass diejenigen Landwirte, die das automatisierte

5 Diskussion der Ergebnisse

Melkverfahren kennen, insgesamt nicht über genügend Kapital (bzw. Nachfragevolumen) verfügen, damit aufgrund der Nachfrage die Preise für AMV (p_{AMV}) steigen und sich somit c. p. ein Gleichgewicht einstellen kann.⁹¹⁶ Unter diesen Bedingungen ermöglicht der Einsatz von AMV Gewinne gegenüber einer alternativen Melktechnik. Anwender von AMV könnten dann in den Folgeperioden durch weitere Investitionstätigkeiten die Nachfrage nach AMV weiter erhöhen mit der Folge, dass andere Landwirte dazu angeregt werden, selbst in die neue Technik zu investieren. Unter sonst gleichen Bedingungen würde dies eine zunehmende Rate der Diffusion von AMV hervorrufen.

Unterstellt man eine weitere Verbreitung des Wissens um die in Ungleichung (5.1) angenommene Vorteilhaftigkeit der Anwendung von AMV würden die Investitionen in die neue Technik zunehmen, wodurch sich die Marktverhältnisse folgendermaßen verändern: Indem ein steigender Anteil der Nachfrage auf AMV entfällt, steigt der Quotient p_{AMV}/p_{Konv} bis zum Gleichgewichtszustand an.⁹¹⁷ Als Effekt eines im Zeitverlauf steigenden relativen Preisverhältnisses würde sich jedoch die Rate der Diffusion von AMV bis zu dem Punkt verringern, an dem keine weitere Substitution zwischen der konventionellen Melktechnik und automatisierten Melkverfahren mehr stattfindet. Dieser Marktverlauf impliziert im Idealfall eine Normalverteilung der Nachfrage über die Zeit, woraus sich ein S-förmiger Diffusionsverlauf ableiten lässt. Dabei kann der konvexe Bereich der Funktion durch die verzögerte Anpassung der Landwirte an die ungleichgewichtigen Preisrelationen, der konkave Abschnitt durch die Anpassung der relativen Preise an die Gleichgewichtsrelationen erklärt werden.

Den Überlegungen zu einem möglichen S-förmigen Funktionsverlauf der Diffusion von AMV steht jedoch die Erkenntnis entgegen, dass – in der weit überwiegenden Mehrzahl der potentiellen Anwendungsgegebenheiten – tatsächlich die relativen Preise der AMV deren relative Leistungsfähigkeit übersteigen:⁹¹⁸

⁹¹⁶ Somit würde zu Beginn der Diffusion von AMV ein Käufermarkt unterstellt werden.

⁹¹⁷ Eine Erhöhung des relativen Preisverhältnisses kann sowohl durch eine Verringerung des Preisniveaus der konventionellen Melktechnik als auch durch einen – aufgrund der erhöhten Nachfrage – gestiegenen Preis für AMV oder aber durch ein gleichzeitiges Wirken beider Effekte bedingt sein. Jedoch ist auch eine gleichgerichtete Preisentwicklung beider Techniken grundsätzlich denkbar.

⁹¹⁸ Der Punkt, an welchem die Gleichgewichtsbeziehung erreicht wird, ist dabei abhängig von der individuell präferierten (substitutiven) konventionellen Melktechnik sowie den individuellen Nutzungskosten für den Faktor Arbeit.

5 Diskussion der Ergebnisse

$$(5.2) \quad p_{AMV} / p_{Konv} \geq L_{AMV} / L_{Konv} .$$

Kann aber unterstellt werden, dass die relative Produktivität der AMV unter den Nutzungsbedingungen der ersten Adopter den relativen Anschaffungspreis übersteigt, ist im Verlauf der Diffusion sowohl c. p. als auch aufgrund der Veränderung der substitutionsbeeinflussenden Parameter, die in Ungleichung (5.2) dargestellte Umkehr der Gleichgewichtsbeziehung anzunehmen (Ungleichung (5.1)). Dennoch ist in der Realität eine Übernahme der innovativen Melktechnik zu beobachten, obwohl aufgrund des individuellen Lohnansatzes bzw. der Auslastungskennziffern die Substitutionsrelation einer Übernahme von AMV entgegensteht. So ist zu folgern, dass die Übernahme eines AMV nur teilweise aufgrund der Produktivitätsbewertung erklärt werden kann. Vielmehr sind bei der Analyse der Diffusion von AMV individuelle Nutzenerwägungen entsprechend der Ungleichung (5.3) in der Modellbildung zu berücksichtigen:

$$(5.3) \quad p_{AMV} / p_{Konv} \leq L_{AMV} / L_{Konv} + U_{AMV} / U_{Konv} .$$

In der dargestellten Funktion umschreibt U_{AMV}/U_{Konv} die individuelle Nutzenrelation beider Melkverfahren. Dabei stellt die jeweilige Nutzenfunktion $U_{i1, \dots, n}$ ein Aggregat aus einer Vielzahl von Ausprägungen verschiedener Einzelnutzen – jenseits der Produktivitäts- und Leistungskennzahlen – dar. Wie aus der nutzen-erweiterten Entscheidungsfunktion hervorgeht, kann die Übernahme eines AMV auch dann gerechtfertigt sein, wenn eine ausschließliche Produktivitätsbetrachtung eine Investitionsentscheidung nicht begründen würde. Übersteigt der relative Preis eines AMV in einer konkreten betrieblichen Anwendungssituation dessen relative Leistungsfähigkeit, kann aufgrund einer hohen erwarteten Nutzenstiftung des vollautomatischen Milchentzugs gegenüber konventionellen Verfahren, eine Übernahme in der Ungleichung (5.3) dennoch nachvollziehbar abgebildet werden: Eine erwartete, relativ geringere Leistungsfähigkeit des AMV wird bei einer Investitionsentscheidung ex ante durch eine hohe Nutzenerwartung gegenüber dem im Vergleich zum konventionellen Substitut relativ hohen Preis überkompensiert, sodass das in Gleichung (5.3) strenge Ungleichheitszeichen gilt. Mit der Einführung der individuellen Nutzenrelation in die Entscheidungsfunktion kompetitiver Diffusionsprozesse ist es möglich, die Diffusion von AMV zu erklären, obwohl unter der Annahme der Gewinnmaximierung eine Übernahme des vollautomatischen Milchentzugs im Einzel-

5 Diskussion der Ergebnisse

fall abgelehnt werden müsste.

Mit der Nutzenrelation wird gegenüber der Leistungsrelation ein relativ unbestimmbarer Faktor in das Entscheidungskalkül zur Übernahme innovativer Investitionsgüter eingeführt. So sind die, vorwiegend die sozialen Aspekte des Milchentzugs beschreibenden Einzelnutzen lediglich qualitativ erfahrbare und entziehen sich einer direkten quantitativen Messung. Leistungsparameter bzw. Gewinnparameter sind hingegen aufgrund vergleichbarer leistungsbedingter Anwendungserfahrungen ex ante besser abzuschätzen als der erwartete, letztlich individuell determinierte Nutzen. Auch sind die die Leistungsfähigkeit eines AMV beschreibenden Anwendungserfahrungen einfacher von einem bisherigen Anwender auf die Einsatzgegebenheiten eines potentiellen Nutzers übertragbar, als dies bei den Aspekten des individuellen Nutzens eines AMV-Einsatzes der Fall ist.

Tritt neben die Leistungs- bzw. die Gewinnerwartung auch die Nutzenerwartung als Entscheidungsdeterminante zeigt sich, dass die jeweilige Gewichtung der beiden Faktoren zum Zeitpunkt der Investition die Investitionsentscheidung richtungsgebend determiniert. Hierdurch ist jedoch eine erhöhte Unsicherheit im Entscheidungsprozess des Landwirts begründet. Neben der Unsicherheit bzgl. des Eintritts der Leistungs- bzw. Gewinnerwartungen besteht zudem eine erhebliche zeitliche Unsicherheit in Bezug auf die Konstanz der Bewertung des relativen Nutzens eines AMV bzw. über die Relation von Leistungs- und Nutzenerwartung über die gesamte Lebensdauer der Investition hinweg. Insbesondere die Höhe einer durch einen AMV-Einsatz möglichen Zeitersparnis in der Milchviehhaltung sowie die erreichbare zeitliche Flexibilisierung der Arbeitsabläufe unterliegen neben einer betriebsindividuellen Ausprägung zudem einer individuellen Bewertung. So besteht im Falle einer Investitionsentscheidung für AMV zum einen die Gefahr, dass sich die im Vorfeld der Investition unterstellten Opportunitätskosten der Arbeitszeit in ihrer Höhe als zu hoch erwiesen haben bzw. die Arbeitszeiterparnis geringer ausfällt als zuvor vermutet. Zum anderen kann sich die Bewertung der individuellen Nutzenstiftung, so vor allem der zeitlichen Flexibilisierung der Arbeitsprozesse, der Arbeitserleichterung aber auch der Arbeitszeiterparnis zu Freizeit Zwecken im Zeitverlauf ändern.

Das Risiko einer unternehmerischen Fehlentscheidung ist vor allem in der Unsicherheit begründet, dass im Zeitverlauf der Gewinnbeitrag einer Investition im Zielsystem des Milcherzeugers an relativer Bedeutung gewinnen und als Folge andere

5 Diskussion der Ergebnisse

Investitionsziele in den Hintergrund treten können.⁹¹⁹ Für die monetär nicht zu bewertende, individuelle relative Nutzenstiftung eines AMV gegenüber einer konventionellen Melktechnik bedeutet dies jedoch - insbesondere für den Fall einer nicht vorhandenen Wirtschaftlichkeit eines AMV-Einsatzes zum Investitionszeitpunkt - dass die sozialen Aspekte im Entscheidungskalkül von einem ursprünglichen Hauptziel zu einem Nebenziel zurückfallen können. So ist unstrittig, dass das oberste Ziel unternehmerischen Handelns der Unternehmenserhalt selbst ist - was auch für das Zielsystem eines landwirtschaftlichen Unternehmens unzweifelhaft anzunehmen ist. Im Hinblick auf die langfristige Existenzsicherung eines landwirtschaftlichen Unternehmens sind somit alle Ziele, die keinen Gewinnbeitrag zum Gegenstand haben, langfristig als Nebenziele zu betrachten; diese können langfristig nicht die verhaltensdeterminierende Wirkung wie die Gewinnziele haben. Insbesondere Schlüsselinvestitionen - wie die Entscheidung für ein Melksystem bei milchviehhaltenden Betrieben - können daher nur unter dem vorherrschenden Ziel der Gewinnerreichungsabsicht getätigt werden.

In der realen Entscheidungssituation des Landwirts kann es, über den gesamten Abschreibungszeitraum betrachtet, letztendlich als Ergebnis der nutzen-erweiterten Entscheidungsfunktion zu einer ungerechtfertigten Erhöhung des Übernahme-Arguments und somit zu einer Verfälschung des Funktionsergebnisses kommen. Auch kann eine Fehleinschätzung der erwarteten Nutzenrelation zu Gunsten des vollautomatischen Melkverfahrens, d. h. eine Überschätzung der Gewinnmöglichkeiten, eine fehlerhafte Investitionsentscheidung bedingen. Beide Aspekte führen im Ergebnis, auf die Gesamtzahl der Anwender übertragen, zu einer Über-Adoption von AMV. In der wirtschaftlichen Realität führen solche Entwicklungen im Diffusionsprozess zu Enttäuschungen der adoptierenden Landwirte und können in den Folgeperioden zu rückläufigen Diffusionsraten von AMV führen. Die negative Beeinflussung des Diffusionsprozesses kann bei einer Überadoption zu einem rückläufigen Diffusionsprozess führen, wobei einschränkend anzumerken ist, dass die Revidierung einer realisierten Investitionsentscheidungen zu Gunsten eines AMV mit hohen Deinvestitionskosten verbunden ist, was einer derartigen Entwicklung vermutlich entgegenstehen wird. Dennoch kann aufgrund einer Überadoption langfris-

⁹¹⁹ Insbesondere ist anzunehmen, dass vor dem Hintergrund einer sich verschlechternden Gewinnsituation des landwirtschaftlichen Unternehmens, eine Verschiebung der Gewichtung zu Gunsten der gewinnbeeinflussenden Leistungsmerkmale eines AMV vollzogen wird.

5 Diskussion der Ergebnisse

tig das Erreichen eines gleichgewichtigen Niveaus der Diffusion nicht verhindert werden, wobei ein konsistentes Verhalten der Landwirte vorauszusetzen ist. Der Diffusionsverlauf von AMV kann dabei über einen längeren Zeitraum starken Schwankungen unterworfen sein.

5.2 Integration der Angebotsseite in die Analyse des Diffusionsprozesses von AMV

Die strukturelle Entwicklung der Milchwirtschaft ist zum einen durch die langfristige Anpassung an die leistungstärkste Technik als Resultat des Selektionsmechanismus und zum anderen durch eine kurzfristige Anpassung an die Angebotsstruktur auf den Faktormärkten gekennzeichnet, die durch den Preismechanismus determiniert wird. Insbesondere für den langfristigen Evolutionsprozess der Milcherzeugung ist der kurzfristige Preismechanismus für Produktionsfaktoren eine entscheidende Bestimmungsgröße, da die Investitions- und damit auch die Innovationsentscheidungen der Milcherzeuger maßgeblich hiervon abhängig sind. Die Preisstellung von AMV selbst ist dabei wesentlich von Annahmen zu Angebot und Nachfrage, also dem über den Markt koordinierten Zusammenspiel von Anbietern und Nachfragern von vollautomatisierten Melkverfahren abhängig. So ist es unter bestimmten Annahmen über die Wirkung des Preismechanismus und die Verhaltensmuster der beteiligten Wirtschaftssubjekte denkbar, dass aufgrund des kurzfristigen Preismechanismus sogar eine Umkehr von technischen Entwicklungstrends hervorgerufen werden kann: Erweist sich durch den Preismechanismus das Innovationsverhalten früher AMV-Übernehmer als falsch und ist die Innovationsentscheidung an kurzfristigen bzw. langfristig falschen Gewinnkriterien ausgerichtet, kann es zu einer Verlangsamung, Verhinderung oder selbst zu einer Rückentwicklung des technischen Wandlungsprozesses kommen.

Wie in der vorliegenden Arbeit ausführlich diskutiert, stellen Innovationsprozesse zu einem wesentlichen Teil Prozesse der industriellen Koordination, somit komplementäres Handeln dar. Dieser Koordinationsprozess ist jedoch oftmals von Asymmetrien geprägt. Die Gründe hierfür liegen in der unterschiedlichen Marktmacht der verschiedenen Industriegruppen sowie in Differenzen bezüglich der Informationskosten und der unterschiedlichen Möglichkeiten zur Anwendung technischer Fortschritte. Werden diese Erkenntnisse auf den Markt vollautomatischer Melkverfahren

5 Diskussion der Ergebnisse

übertragen, zeigt sich aufgrund der hier herrschenden Asymmetrien zwischen der Gruppe der Hersteller und Anwendern von AMV aber auch zwischen den AMV-Herstellern selbst, dass die am Wandlungsprozess beteiligten wirtschaftlichen Gruppen nicht entsprechend ihres Einsatzes im Innovationsprozess entlohnt werden.⁹²⁰ Insbesondere die - vorübergehende oder dauerhafte - Monopolstellung eines AMV-Herstellers (Lely) ruft eine Verzögerung der Diffusion von AMV hervor, da für eine schnelle Ausbreitung dieser Technik sowohl eine horizontale Marktkoordination innerhalb der Melktechnik-Branche u. a. mittels Lizenzvereinbarungen als auch eine vertikale Abstimmung mittels des Preismechanismus mit den AMV-Anwendern notwendig ist. Die Abhängigkeit des gesamten Diffusionsverlaufs von der individuellen Preis-Mengen-Strategie des marktbeherrschenden Anbieters Lely konnte oben dargelegt werden.

Im Hinblick auf die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Akteuren auf der Angebotsseite von AMV kann festgehalten werden, dass rückläufige Diffusionsraten bzw. ein rückläufiger Diffusionsprozess von AMV auch durch Lerneffekte sowohl in der Herstellung der AMV selbst als auch bei der Herstellung von konventioneller Melktechnik hervorgerufen werden können. Treten bei der Herstellung von AMV Lerneffekte auf, könnten diese zu einer Kostensenkung bzw. zu einer Leistungssteigerung der konventionellen Melksysteme führen, wobei der positive Effekt bei diesen Melksystemen sogar höher ausfallen kann als bei den AMV selbst.

Hat sich ein gleichgewichtiges Verhältnis von relativen Preisen zur relativen Leistungsfähigkeit eingestellt, kann es aufgrund von Lerneffekten für die Hersteller von Melktechnik vorteilhafter sein, die Produktion von konventionellen Melksystemen zu Lasten von AMV auszuweiten als umgekehrt zukünftig eine wertmäßige Nachfrageerhöhung nach AMV relativ zu dem Preis für konventionelle Melktechnik zu unterstellen. Als Effekt steigt P_{AMV}/P_{Konv} bis zu dem Punkt, an dem eine weitere Substitution von konventioneller Melktechnik durch AMV für die Landwirte nicht mehr sinnvoll erscheint. Bedingen weitere anhaltende Lerneffekte eine dauerhafte Verringerung des Preises für konventionelle Melktechnik, kann dies langfristig zu einer sinkenden Nutzung von AMV führen.

⁹²⁰ Je nach Ausprägung der Asymmetrien kann der Diffusionsprozess verlangsamt bis verhindert werden.

Der wesentlichste Anstoß für einen reduzierten bzw. rückläufigen Diffusionsprozess von AMV geht jedoch von der anhaltenden Weiterentwicklung der Verfahren zum Milchentzug insgesamt aus. Selbst wenn sich in einer Periode eine Gleichgewichtsbeziehung zwischen den relativen Preisen und der relativen Leistungsfähigkeit von AMV eingestellt hat, kann durch die Einführung eines neuen Verfahrens bzw. durch die entscheidende Weiterentwicklung der konventionellen Melkverfahren – etwa durch die Automatisierung von Rotolaktoren⁹²¹ - die relative Leistungsfähigkeit gegenüber den relativen Preisen von AMV dergestalt sinken, dass die relative bzw. die absolute Nachfrage nach AMV in den Folgeperioden abnimmt.⁹²²

Die Diffusionsforschung hat es bisher aufgrund der einseitigen Betonung der sozio-ökonomischen Merkmale der potentiellen Nachfrager zur Erklärung von Diffusionsverläufen versäumt, auf den Zusammenhang von Angebotsstruktur und Diffusionsverlauf hinzuweisen. So kann sich, bei einer anfangs konkaven und im Zeitverlauf konvexen Angebotsfunktion von AMV selbst dann ein S-förmiger Diffusionsverlauf ergeben, wenn die potentielle Nachfrage mit einer konstanten Rate zunimmt. Dieses Angebotsverhalten liegt für den (beobachteten) Fall vor, wenn sich Melktechnikanbieter nur sehr langsam auf die Produktion von AMV umstellen. Erst bei Erreichen eines bestimmten Preis- bzw. Mengenniveaus reagieren die potentiellen Anbieter stärker auf Preissteigerungen und treten in den AMV-Markt ein. Wird im weiteren Verlauf eine bestimmte Höhe der Produktion erreicht, können wieder abnehmende Skalenerträge einen konvexen Funktionsverlauf hervorrufen. Hier ist der Diffusionsverlauf somit vom Verhalten der potentiellen AMV-Anbieter determiniert.

Insgesamt ist festzuhalten, dass Art und Geschwindigkeit der Diffusion von AMV im wesentlichen von der Wechselwirkung und der Koordination von Angebot und Nachfrage abhängig sind. In ihrer tatsächlichen Ausgestaltung ist die Diffusion von AMV insbesondere von der Angebotsfunktion der Melktechnikhersteller geprägt.

5.3 Charakterisierung von AMV aus innovationstheoretischer Sicht

Im Hinblick auf die Charakterisierung von AMV aus innovationstheoretischer Sicht ist im ersten Schritt der Fragestellung nach zu gehen, ob mit dem Einsatz von AMV

⁹²¹ Eine mögliche Vollautomatisierung von konventionellen Melksystemen kann auch als ein Lerneffekt aufgrund der Entwicklung von AMV angesehen werden.

⁹²² Insgesamt ist festzuhalten, dass aufgrund des technischen Fortschritts Gleichgewichtszustände grundsätzlich als instabil anzusehen sind.

5 Diskussion der Ergebnisse

in der Milcherzeugung eine Effizienzsteigerung des Produktionsprozesses einhergeht, somit also ein technischer Fortschritt überhaupt vorliegt. Zur Messung des Prozessfortschrittes ist dabei auf die Produktivitätserhöhung einzelner Produktionsfaktoren abzustellen. Im Rahmen des horizontalen Produktivitätsvergleiches zwischen AMV und konventioneller Melktechnik konnte für die Arbeitsproduktivität gezeigt werden, dass die partielle Produktivität des Faktors Arbeit mit der Übernahme von AMV durch den landwirtschaftlichen Betrieb gestiegen ist. Hingegen ist die Effizienz des Kapitaleinsatzes gleichzeitig gesunken.⁹²³ Die Analyse der aufgetretenen Veränderungen zeigt mehrere Erklärungsansätze zur Erhöhung der partiellen Produktivität des Faktors Arbeit auf:

1. Verminderung der Einsatzmenge des Faktors Arbeit;
2. Erhöhung der Einsatzmenge des Faktors Kapital;
3. Effizienzsteigerung des Faktoreinsatzes durch technischen Fortschritt.

Wird für die Produktionsfunktion angenommen, dass sie in den beiden Faktoren Arbeit und Kapital linear-homogen sei, können Skaleneffekte ausgeschlossen werden. Gleichwohl sind die beiden Faktoren gegenseitig substituierbar. In dem hier zugrunde gelegten neoklassischen Modell unterliegt der intensive Einsatz des Faktors Kapital im landwirtschaftlichen Betrieb einem abnehmenden Ertragszuwachs. Der Anstieg der Arbeitsproduktivität und somit die Verschiebung der Produktionsfunktion nach oben, wäre somit hauptsächlich auf den technischen Fortschritt zurückzuführen. Die Wachstumsrate der Totalertragsfunktion setzt sich dabei jedoch sowohl aus einer Erhöhung der Fortschritts- als auch der Kapitalintensivierungsrate zusammen, wodurch beim Übergang zum AMV sowohl eine Verschiebung der Isoquante hin zum Ursprung als auch eine Drehung der Isoquante vorliegt. Diese Entwicklung liegt darin begründet, dass in der Periode vor der Übernahme von AMV die Grenzproduktivität der Arbeit gegenüber der Grenzproduktivität des Kapitals nur unterdurchschnittlich zugenommen hat. Entspricht nun im weiteren Verlauf der Produktionsanpassung aufgrund der Wirkung des technischen Fortschritts in Form von AMV wieder die Grenzrate der technischen Substitution dem Faktorpreisverhältnis,

⁹²³ Dabei ist einschränkend anzumerken, dass die jeweils anderen Faktoren in ihren Aufwandmengen nicht unverändert geblieben sind. In diesem Zusammenhang sei hier auf die in Kapitel 2 geführte Diskussion zur Abgrenzung technischer Fortschritte im Hinblick auf veränderte Faktorproduktivitäten verwiesen.

5 Diskussion der Ergebnisse

wird die Kapitalintensität bei einer konstanten Lohn-Zins-Relation erhöht, was zu einer Verringerung des Einsatzes des Faktors Arbeit im Produktionsprozess führt. Entsprechend ist mit dieser Entwicklung ein Absinken der Lohnquote im Produktionsprozess der Milcherzeugung verbunden. Da der Einsatz von AMV eine nicht-proportionale Erhöhung der Grenzproduktivitäten vorliegt, ist der Neutralitätsdefinition nach Hicks eindeutig widersprochen.

Die Veränderung der Produktionsfunktion aufgrund der Einführung von AMV führt in ihrem Ergebnis zu einer Veränderung der betrieblichen Kostenfunktion. Erfüllen AMV die Anforderungen der Definition des technischen Fortschritts im ökonomischen Sinn, liegt - unter Berücksichtigung der Konstanz der Preise der Produktionsfaktoren und insbesondere eines fixen Produktionsfaktors - eine Verschiebung der Gesamtkostenkurve nach unten vor. Die Konstanzannahme betreffend eines fixen Produktionsfaktors muss dabei jedoch für den Fall von AMV verworfen werden, da mit der Einführung des technischen Fortschritts der technische Anlagenbestand selbstredend verändert wird. Unter der Beachtung der vorgebrachten Kritik an der Klassifikation des technischen Fortschritts nach der Veränderung der Grenzkosten- und Grenzertragsfunktion und somit an der Klassifikation LANGES kann im Falle von AMV vielmehr der Klassifikation von OTT gefolgt werden, wonach die Limitationalität von zwei oder mehreren Produktionsfaktoren anzunehmen ist.

Unter der Annahme, dass in der Periode_{t+1} die ermolzene Milchmenge y unverändert bleibt und der Kapitalkostensatz q als auch der Lohnkostensatz l in der Milcherzeugung konstant ist, ist im Zwei-Faktoren-Modell unter Erfüllung des Minimalkostenprinzips c. p. eine Reduktion der Gesamtkosten in der Milcherzeugung folglich nur durch eine Änderung des mengenmäßigen Einsatzes der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital möglich. Wie dargelegt werden konnte zeigt sich, dass bei technischem Fortschritt - unter der Bedingung einer konstanten Produktionsmenge - das totale Differential der Gesamtkostengleichung dKy negativ sein muss und somit die Gesamtkosten in der Milcherzeugung sinken. Unter dem Eindruck einer steigenden Kapitalintensität und einer positiven Veränderung des Kapital- sowie einer negativen Veränderung des Arbeitskoeffizienten, ist im Ergebnis die Wirkung von AMV bei steigendem Kapitalaufwand arbeitssparend. Wird im Falle von AMV u. a. eine Bewegung auf der Isoquanten unterstellt, resultiert gleichzeitig eine Konstanz der totalen Grenzproduktivität. Hieraus ergibt sich jedoch, dass eine Verringerung

5 Diskussion der Ergebnisse

des Faktors Arbeit notwendigerweise durch einen (relativen) Mehreinsatz des Faktors Kapital ausgeglichen werden muss. Für den Einsatz von AMV bedeutet dies, dass die für das Vorliegen eines technischen Fortschritts notwendige Bedingung der Senkung der Gesamtkosten nur erfüllt werden kann, wenn die Nebenbedingung $dK \cdot q < dA$ erfüllt ist, somit die wegfallenden Kosten größer sind als die neu entstehenden. Diese notwendige Bedingung für die Einordnung von AMV als technischen Fortschritt ist jedoch, entsprechend der betrieblichen Einsatzbedingungen von AMV, nicht in jedem Fall gegeben. Liegt unter realen Einsatzbedingungen tatsächlich eine Senkung der realen Kosten und somit eine Verschiebung der partiellen Grenzproduktivitäten der Faktoren Arbeit und Kapital auf der neuen Isoquante vor, bestätigt sich die Annahme, dass technische Fortschritte, die eine relativ unterschiedliche Veränderung der partiellen Grenzproduktivitäten bewirken, mit einer Faktorsubstitution verbunden sind. Auch unter Beachtung der Kostenfunktion ist zu dem Schluss zu kommen, dass im Falle von AMV sowohl ein Fortschritts- als auch ein Substitutionseffekt vorliegt.

Um Faktoreinsatzbeziehungen mechanisierter landwirtschaftlicher Produktionsverfahren, besonders im Bereich der Tierhaltung, noch realitätsnaher abzubilden, ist in Erweiterung des zuvor besprochenen Modells von OTT eine weitgehende Komplementarität der Faktoren, d. h. eine linear-limitationale Faktoreinsatzbeziehung, die durch das jeweilige technische Verfahren bedingt ist, zu diskutieren. Ausgehend von den Modellüberlegungen SOLOWS zur Zeitabhängigkeit des technischen Fortschritts können Investitionen in der Landwirtschaft unter Berücksichtigung des Kapitalstocks und in Abhängigkeit des Investitionsjahres als Vehikel des technischen Fortschritts angesehen werden. Die Betrachtung der landwirtschaftlichen Praxis zeigt dabei eindeutig, dass der technische Fortschritt nicht in neuen als auch in alten Kapitalausstattungen gleichermaßen zum Tragen kommt, demnach faktorgebunden vorliegt. So erfordert die Einführung eines neuen Produktionsprozesses und damit des technischen Fortschritts i. d. R. Bruttoinvestitionen in Maschinen, Gebäude und Einrichtungen. Das Wirksamwerden von Produktivitätssteigerungen ist dementsprechend an den Einsatz verbesserter Produktionsfaktoren, so von AMV, gebunden. Neben dem Investitionszeitpunkt als Ausdruck der Leistungsfähigkeit des (jeweils) neuartigen Melkverfahrens, besteht zudem eine weitgehend determinierte Verbindung der genutzten Melkverfahren mit dem Einsatz des Input-

5 Diskussion der Ergebnisse

faktors Arbeit. Die Input-Relation der beiden bestimmenden Faktoren Arbeit und Kapital ist somit abhängig vom jeweiligen Investitionszeitpunkt. Da bei Vorliegen einer derart linear-limitationalen Produktionsfunktion nur ein einziges Produktionsverfahren ein – betriebsabhängig - effizientes Erreichen eines Produktionsergebnisses in der Milcherzeugung erlauben kann, tritt daher, soll ein höheres Produktionsniveau erreicht werden, an die Stelle der Faktorsubstitution die Prozesssubstitution. In Bezug auf den Produktionsprozess Milcherzeugung bedeutet dies, dass durch den Faktor, für den das Verhältnis von Inputmenge und Inputkoeffizient minimal ist - i. d. R. ist dies der Engpassfaktor Arbeit-, das Produktionsniveau der Milcherzeugung entsprechend begrenzt wird. Da jedoch die Variation der Faktorrelation im tatsächlichen Investitionsprozess zeitlich nur vor der Einführung des technischen Fortschritts frei gewählt werden kann und nach dem Investitionszeitpunkt ausschließlich eine limitationale Beziehung zwischen den Inputfaktoren besteht, ist sowohl die produktionstheoretische Prämisse einer völligen Substitutionalität (Substitutionselastizität = ∞) als auch die einer völligen Limitationalität im Rahmen der Leontief-Produktionsfunktion (Substitutionselastizität = 0) als unrealistisch anzusehen. Das für die Investition in Melktechnik folglich festzustellende „putty-clay“-Modell SOLOWS einer ex-ante Substitutionalität sowie einer ex-post Limitationalität der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital hat dabei allerdings einen erheblichen Einfluss auf die Entscheidungssituation des landwirtschaftlichen Unternehmers. Aufgrund der langfristigen Determiniertheit der Faktoreinsatzrelation basiert die Investitionsentscheidung nun auf einer für den gesamten Investitionszeitraum erwarteten Faktorpreisrelation, wodurch sich eine bedeutende Unsicherheit für den Milchviehhalter ergibt. Insbesondere die Einschätzung der Preisentwicklung und die Einschätzung der Verfügbarkeit des Faktors Arbeit ist daher im Investitionskalkül bezüglich der Wahl einer Melktechnik von zentraler Bedeutung.

Obwohl der technische Fortschritt im Falle von AMV, wie oben ausgeführt, faktorgebunden auftritt, kann dennoch SOLOWS Embodied-Konzept hier nicht gefolgt werden, wonach der melktechnische Fortschritt unabhängig von ökonomischen Variablen, so etwa dem Faktorpreisverhältnis, autonom auftritt. Zwar wird der melktechnische Fortschritt, wie gezeigt, in der Gestalt neuer Kapitalgüter wirksam, ist jedoch - entgegen der Annahme SOLOWS – dabei u. a. von der Höhe der Kapitalbildung abhängig und damit nicht einzig eine Funktion der Zeit. Auch kann Solows Erklä-

5 Diskussion der Ergebnisse

rungsansatz eines inhomogenen Jahrgangkapitals als Träger des technischen Fortschritts hier nicht gelten, da die am Markt zur Verfügung stehenden melktechnischen Anlagen durch ein weites Spektrum bezüglich des technischen Stands und der jeweiligen Faktorbeanspruchung charakterisiert sind. Zudem ist die technische Entwicklung, was die Einsparung des Faktors Arbeit als den Kern des technischen Fortschritts betrifft, bei AMV und konventionellen Melkverfahren unabhängig von einander verlaufen: Mit der Entwicklung von AMV als einem gänzlich neuen Melk- und Haltungsverfahren wurde der bisherige Trend der fortlaufenden Weiterentwicklung des personengebundenen Melkprozesses verlassen. Die Ansicht, dass der technische Fortschritt als autonome Variable aufzufassen sei, muss somit, zumindest für den hier betrachteten Fall, als empirisch widerlegt angesehen werden.

Vielmehr erscheint die Erklärung von Ursache und Ausrichtung des technischen Fortschritts in der Milcherzeugung als endogene und damit systemabhängige Variable deutlich problemadäquater. Hier stehen, wie oben herausgearbeitet, insbesondere die beiden Modelle der Faktor-Induzierung und der Investitions-Induzierung als Erklärungsmodelle zur Verfügung.

Zum einen ist die auf Hicks zurückgehende Überlegung zu diskutieren, dass die Einführung von AMV in die Landwirtschaft durch eine Änderung der Faktorpreisrelationen verursacht sei. Die Verteuerung des Faktors Arbeit führt entsprechend den Annahmen dieses Modells, unter Zugrundelegung der Gewinnmaximierungshypothese, zur Einführung arbeitsplatzsparender technischer Fortschritte in der Milcherzeugung. Das Modell basiert somit auf der zentralen Annahme der negativen Korrelation zwischen dem Faktorpreis- und dem Einsatzverhältnis der Faktoren Arbeit und Kapital. Zwar wird das Konzept des induzierten technischen Fortschritts, insbesondere der Ansatz von HAYAMI und RUTTAN von HENRICHSMEYER und WITZKE als hilfreich bewertet, um die langfristigen Tendenzen agrarsektoraler Entwicklung erklären zu können;⁹²⁴ dennoch zeigt sich deutlich, dass auf der Grundlage des Konzepts des faktorpreis-induzierten technischen Fortschritts die Diffusion von AMV nicht hinreichend erklärt werden kann. Besonders in der Erklärung des Optimierungsverhaltens von innovierenden Landwirten greift die ausschließliche Betrachtung der Relation von Kapitalentlohnung und Lohntrend deutlich zu kurz. Zum einen kann nicht eine einzelne Faktorpreisrelation isoliert von allen anderen im Produkti-

⁹²⁴ HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1], S. 247.

5 Diskussion der Ergebnisse

onsprozess eingesetzten Faktoren als entscheidend für die Übernahme technischer Fortschritte betrachtet werden. Zum anderen sind zur Erklärung des Adoptionsverhaltens in der Landwirtschaft sowohl verhaltensdifferenzierende Merkmale als auch die Eigenschaften des jeweiligen Betriebs sowie des Produktionsprozesses Milchviehhaltung mit zu berücksichtigen. So zeigt die Einführung von AMV deutlich auf, dass die neue Technik zwar zu einer Erhöhung der Kapitalintensität führt, folglich ein arbeitssparender Bias vorliegt, jedoch nicht primär die Einsparung des Faktors Arbeit sondern, je nach betrieblicher Situation, vielmehr dessen stärkere zeitliche Flexibilisierung den entscheidenden Innovationsimpuls auslöst. Auch sind die innovierenden Milchviehhalter bestrebt, nicht nur einen Faktor einzusparen, sondern vielmehr über das gesamte Faktorbündel hinweg die Situation der Minimalkostenkombination zu erreichen. Zudem kommen teilweise in hohem Maße hedonistische Überlegungen im Investitionsprozess zu Gunsten von AMV zum Tragen, sodass die neue Technik – abhängig von der jeweiligen Einsatzsituation - deutliche Eigenschaften eines Konsumguts tragen kann. So konnte gezeigt werden, dass die Investitions-Entscheidung für eine neue Melktechnik nicht primär auf ökonomischen Erwägungen beruht. Vielmehr sind insbesondere soziale und arbeitswirtschaftliche Motivationen im Übernahmeprozess entscheidend. Für den Einsatz von AMV muss daher festgehalten werden, dass eine exogen auftretende Verteuerung des Faktors Arbeit auch in der Milchviehhaltung c. p. zu einer Substitution von Arbeit und Kapital führt. Jedoch gelangt mit der Einführung von AMV nicht generell effektiveres Kapital in den Milcherzeugerbetrieben zum Einsatz.

Auch dem Modell des investitionsinduzierten technischen Fortschritts kann im Falle von AMV nur eingeschränkt gefolgt werden. Zwar wird auch in diesem Modellansatz die Annahme vertreten, dass Neuerungen aufgrund von Bruttoinvestitionen zum Tragen kommen. Ebenso kann der These gefolgt werden, dass aufgrund von speziellen Lerneffekten AMV als neue Produktionsfaktoren produktiver zu handhaben sind als bisherige Melktechniken. Dass darüber hinaus entsprechend KALDORS Überlegungen zur technischen Fortschrittsfunktion jedoch mit der Kapitalintensivierung der Produktion auch neues technisches Wissen produziert und somit weiterer technischer Fortschritt induziert wird, ist für den Einsatz von AMV zurück zu weisen. Da mit Hilfe von AMV ausschließlich Konsumgüter (Lebensmittel) und keine neuen Kapitalgüter hergestellt werden, wird aufgrund der Bruttoinvestition neu entstande-

5 Diskussion der Ergebnisse

nes Wissen nicht unmittelbar in der Produktion neuer und verbesserter Kapitalgüter wirksam.

Dennoch kommt der Frage nach Lerneffekten im Zuge der Nutzung AMV sowohl im Hinblick auf die technische Entwicklung in der Milcherzeugung als auch im Hinblick auf Veränderungen der Qualität des eingesetzten Humankapitals eine nicht zu unterschätzende Relevanz zu. Landwirte erwerben sich im Laufe der Anwendung von AMV Befähigungen – so u. a. im Bereich des Precision Livestock Farming - die sich nachfolgend in Form einer verbesserten Tätigkeits-Ausübung niederschlagen. Diese Erfahrungsakkumulation stellt, im Gegensatz zur zielgerichteten Akkumulation von Wissen bzw. Sachkapital, ein nicht geplantes Neben- bzw. Koppelprodukt der Einführung von AMV dar. Die intertemporal positiv wirkenden Lern- und Erfahrungseffekte beziehen sich zunächst lediglich auf die jeweiligen Tätigkeitsfelder eines Individuums. Wird in einem erweiterten Ansatz ein Humankapital-Aggregat betrachtet, so sind zudem intra- und interbetriebliche Erfahrungs-Spillovers möglich. ARROWS Modell der Lernprozesse, insbesondere jedoch der „Learning-by-using“-Ansatz von ROSENBERG, der sich speziell auf Erfahrungen in der Nutzung von Kapitalgütern bezieht, findet demnach dahingehend Bestätigung, dass sich aufgrund von Bruttoinvestitionen neben der gegenwärtigen Produktionskapazität gleichzeitig auch die zukünftige Produktivität aufgrund neuen technologischen Wissens erhöht. Es ist auch im hier betrachteten Fall zu unterstellen, dass mit steigendem Nutzungsumfang von AMV die Produktivität des Faktors Arbeit zunimmt und folglich die Grenzkosten sinken, wodurch sich steigende dynamische Skalenerträge einstellen können. Aufgrund dieser, als Lerneffekte aufzufassenden, steigenden dynamischen Skaleneffekte sinken die Durchschnittskosten der Produktion in den Folgeperioden. Hier entsteht die Verbindung zum organisatorisch-technischen Fortschritt, da nicht-kapitalgebundene technische Fortschritte erst dann realisiert werden können, wenn die in den Folgeperioden eingesetzten Arbeitskräfte über ein vergleichbar höheres Wissen verfügen, als die Arbeitskräfte in der Periode t . Somit ist gezeigt, dass sich Produktionsprozess und Wissensstand gegenseitig beeinflussen, wodurch die Produktionsfunktion bei einem Einsatz von AMV eine Änderung ihrer selbst generiert.

Die Existenz hoher Lernraten bei der Übernahme von AMV ist zum einen in der hohen Komplexität von AMV als Produktionsprozess begründet. Zum anderen lie-

5 Diskussion der Ergebnisse

gen noch keine Einsatzerfahrungen in der Nutzung dieser Technik vor, sodass die übernehmenden Landwirte in der ersten Nutzungsphase nicht an ihrer langfristigen Effizienzgrenze operieren.⁹²⁵ Um diese Effizienzgrenze zu erreichen, sind kontinuierliche Interaktionen zwischen Herstellern und Anwendern von AMV erforderlich, die im Zuge von Lernprozessen zu Modifikationen der Technik führen. Eine optimale Nutzungs- und Wartungsstrategie ergibt sich somit sukzessive aufgrund der Lernprozesse während der Nutzung von AMV mit dem Ziel, den mit dem Kapitalgut zu erzielenden Nettoertragsstrom zu maximieren.

Obwohl den Modellen ARROWS und ROSENBERGS eine modellexterne Bewertung des technischen Fortschritts zu Grunde liegt, können dennoch hieraus hilfreiche Ansätze für die Bewertung von AMV gewonnen werden. So erscheint die Auftrennung des „composite“-Kapitalstocks und damit die Einführung einer eigenständigen Erfahrungsakkumulation zur Endogenisierung der Variable Wissen, modelltheoretisch nachvollziehbar und sinnvoll.

Vielfach wird in der Innovationsforschung a priori unterstellt, dass die schnelle und vollständige Diffusion einer Innovation ökonomisch wünschenswert sei, sobald die ökonomischen Bedingungen für die Existenz einer Innovation – folglich die Verschiebung der Isoquante hin zum Ursprung – vorliegen. Dennoch kann es betriebsindividuell eine erfolgreichere Strategie darstellen, die Neuerung vorläufig bzw. gänzlich abzulehnen.

Es obliegt der individuellen Bewertung des landwirtschaftlichen Betriebsleiters betreffend seine Einschätzung zu den betrieblichen Einsatzbedingungen und zur zukünftigen Entwicklung am Arbeits- und Milchmarkt, mittels welcher Adoptionsstrategie - frühzeitige, spätere oder keine AMV-Übernahme – der Unternehmenserfolg am nachhaltigsten sichergestellt werden kann. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass ex ante eine generalisierte Aussage über die Wirkung von AMV auf den betrieblichen Erfolg nicht getroffen werden kann. Eine generelle Gleichsetzung von AMV-Übernahme und Betriebserfolg ist jedoch in jedem Falle unzulässig.

⁹²⁵ Eine gleichlautende Feststellung kann auch für die Hersteller und Service-Organisationen getroffen werden.

6 Zusammenfassung

Die Melkarbeit, welche einen hohen Anteil am Gesamtarbeitsbedarf der Milcherzeugung einnimmt, stellt eine für die Arbeitskraft physisch stark belastende Tätigkeit dar. Insbesondere die im Milchentzug begründete, zeitlich unflexible Bindung der eingesetzten Arbeitskräfte, ist kennzeichnend für diesen Betriebszweig. Diesem Umstand entsprechend wurden in den letzten zwei Jahrzehnten verstärkt Anstrengungen unternommen, den Melkvorgang zu automatisieren.

Mit den vollautomatischen Melkverfahren (AMV) steht nun erstmals eine Technik zur Verfügung, mit welcher der Melkvorgang zeitlich weitgehend unabhängig vom Landwirt durchgeführt werden kann. Ausgehend von den Niederlanden, werden seit Mitte der neunziger Jahre die ersten Anlagen auch in deutschen Praxisbetrieben eingesetzt. Die große Bedeutung der Einführung der AMV-Technik als „Schlüsseltechnologie“ für die milcherzeugenden Betriebe ist unbestritten, obwohl die ökonomischen Potentiale und Wirkungen dieser Neuerung bisher nur unzureichend dargestellt worden sind. Die in AMV zum Ausdruck kommende zunehmende Komplexität technischer Neuerungen in der Landwirtschaft sowie die wachsende Geschwindigkeit ihrer Ausbreitungen haben dabei zu einem gesteigerten Interesse an den Folgewirkungen einer zunehmenden Technisierung geführt.

Für die AMV als Einzeltechnologie liegt bisher kein Konzept einer umfassenden Technikwirkungsanalyse vor. Zudem sind AMV seither nicht im Hinblick auf ihre innovationstheoretische Einordnung beschrieben worden. Gleichzeitig werden unter dem Eindruck der bisherigen Adoption von AMV, in dem besonders in der agrarökonomischen Forschungstradition verankerten modelltheoretischen Vorgehen Diffusionsprozesse mittels nachfragebasierten Epidemiemodellen zu erklären, modellbedingte Einschränkungen in der Abbildung der Realität offenkundig.

Ausgehend von diesem Kenntnisstand stellt sich für die agrarökonomische Forschung somit die Aufgabe, die Erklärungsmodelle zu Entstehung, Wirkung und Verbreitung technischer Fortschritte als Grundlage einer Technikwirkungsanalyse für AMV einer umfassenden Bewertung zu unterziehen. Insgesamt sind dabei die Parameter herauszuarbeiten, die den Adoptions- und Diffusionsprozess von AMV determinieren.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorgelegten Arbeit ist es, den Diffusionsprozess von Innovationen in der Landwirtschaft am Beispiel der Markteinführung von vollautomatisierten Melksystemen zu untersuchen. Ausgehend von den Überlegungen zur Betrachtung von Innovationsprozessen in verschiedenen wirtschaftstheoretischen Modellen, werden vor dem Hintergrund der Theorien zur Analyse des technischen Fortschritts, ausgewählte Ansätze und Methoden zur Technikfolgenabschätzung in der Landwirtschaft diskutiert. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in der Entwicklung einer Gesamtkonzeption zur Technikwirkungsanalyse für vollautomatisierte Melkverfahren zusammengeführt.

Als Teil einer Technikwirkungsanalyse für AMV ist die Übernahme-Motivation der neuen Technik durch die potentiellen Nutzer empirisch zu erfassen. Die in der Literatur vorliegenden Erkenntnisse wurden dabei durch eine schriftliche Befragung von 5.210 milcherzeugenden Betrieben mit über 30 Milchkühen in vier deutschen Molkereigebieten ergänzt.

Die hohen Investitionskosten von AMV stellen zur Zeit das größte Innovationshemmnis dar. Auch die mit der Umstellung der Melktechnik verbundenen Anpassungskosten sowie die Erwartung eines hohen Wartungs- und Reparaturaufwandes werden von den Nichtübernehmern als wichtige Argumente gegen eine Investition in AMV genannt.

Arbeitswirtschaftliche und soziale Argumente stehen dagegen für potenzielle Technikübernehmer im Vordergrund ihrer Entscheidungsfindung. So sind hier gesundheitliche Aspekte sowie eine erwartete hohe zeitliche Flexibilität und Arbeitszeiterparnis zu nennen. Ein weiterer Beweggrund ist im Streben nach einer größeren Unabhängigkeit von Lohnarbeitskräften zu sehen.

Die im Vergleich zu konventionellen Techniken, insbesondere auf Grund hoher Investitionskosten bestehenden Kostennachteile, verbunden mit niedrigen Opportunitätskosten für die in Familienbetrieben durch ein AMV freigesetzte Arbeitszeit, stehen einer Technikübernahme in größerem Umfang zur Zeit entgegen. Zudem werden künftige betriebliche Entwicklungsschritte aufgrund sprunghafter Kostenverläufe zusätzlich erschwert. Die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel werden in Folge des durch staatliche Markteingriffe bedingten Kapitalbedarfs für den Erwerb von Milch-Vermarktungsrechten dabei zusätzlich eingeschränkt.

6 Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass, obwohl der relative Anschaffungspreis von AMV deren relative Produktivität übersteigt – die Substitutionsrelation somit einer Übernahme von AMV entgegensteht – dennoch eine Übernahme der innovativen Melktechnik aufgrund individueller Nutzenerwägungen stattfindet. Mit der dargelegten Einführung der individuellen Nutzenrelation in die Entscheidungsfunktion kompetitiver Diffusionsprozesse ist es nun möglich, die Diffusion von AMV zu erklären, obwohl unter der Annahme der Gewinnmaximierung eine Übernahme des vollautomatischen Milchentzugs im Einzelfall abgelehnt werden müsste. Eine weitere Spezifizierung der nutzen-erweiterten Entscheidungsfunktion könnte maßgeblich zu einer ex ante Schätzung von Diffusionsprozessen in der Landwirtschaft beitragen.

Für die Mehrzahl der potentiellen Nutzer von AMV ist jedoch anzunehmen, dass die Leistungs- und Gewinnerwartungen die vorwiegend sozialen und arbeitswirtschaftlichen Nutzenerwartungen dauerhaft überlagern. Diese Erkenntnis steht damit der Erwartung einer idealtypischen S-förmigen Verteilungsfunktion der AMV-Übernehmer entgegen. Gegenüber der bisherigen Tradition der nachfrageorientierten Diffusionsforschung konnte hier vielmehr für AMV ein durch die Anbieterseite determinierter Diffusionsprozess nachgewiesen werden. Da sich Diffusionsprozesse aufgrund der zunehmenden Komplexität der Neuerungen auch in der Landwirtschaft verstärkt als Prozesse industrieller Koordination darstellen werden, sollte die bisherige einseitige Betonung der sozioökonomischen Merkmale der potentiellen Übernehmer zugunsten einer verstärkten angebotsorientierten Diffusionsforschung aufgegeben werden. Entsprechend sind auch zukünftige Technikfolgenabschätzungen explizit auf die Hersteller von Neuerungen zu erweitern.

Insgesamt kann mit Hilfe des Konzepts des faktorpreis-induzierten technischen Fortschritts die Diffusion von AMV nicht hinreichend erklärt werden. Dies insbesondere auch deshalb, da mit der Einführung von AMV nicht generell effektiveres Kapital in den Milcherzeugerbetrieben zum Einsatz kommt. Ob AMV als technischer Fortschritt im ökonomischen Sinne zu bewerten sind, ist dabei von den individuellen betrieblichen Einsatzgegebenheiten abhängig.

Im Hinblick auf die zukünftige sektorale Entwicklung der Milcherzeugung kann daher festgestellt werden, dass auf die zu erwartende Marktdiffusion vollautomatisierter Melkverfahren mittelfristig keine die Struktur der milcherzeugenden Betriebe beeinflussenden Effekte zurückzuführen sind.

Summary

The process of milking, which takes up a high amount overall of the total workload of dairy production, represents a highly demanding physical activity for the farmer. Particularly the temporally commitment of the assigned staff that is with the milking process is typical for dairy farming. Accordingly, we have seen increased efforts within the last two decades to further the automation of the milking process.

With the fully automated milking systems (AMS), we have a technique available to perform the milking process largely independent from the dairy farmer for the first time. Based on results in the Netherlands, we observe first utilization of this innovation on German farms since the mid-nineties as well. The high significance of the introduction of AMS as a “key technology” for dairy farms is indisputable, although the analysis of the economic potential and value of this new technology has been insufficient so far. The complexity of technical innovations in farming that is shown in the AMS, as well as the growing speed of their expansion have led to a higher interest in the subsequent effects of increased mechanization.

A concept of a comprehensive analysis of the technological impact for AMS doesn’t exist so far. Further, AMS have not been described in terms of their classification within innovation-theory yet. At the same time, we get the impression that with the adoption process of the AMS technology, limitations of the model-based theory become obvious in reality. Particularly in the field of agricultural economics research we traditionally find the model-based approach, where diffusion processes are explained by epidemic models based on demand.

Based on this knowledge, we have to confront the agricultural economic research with the task to carefully investigate the explanatory-models for the development, impact and expansion of technical advancement as a basis of a technological assessment for AMS. Overall, the parameters that determine the adoption and diffusion process have to be pointed out.

The objective of this thesis is to investigate the diffusion process of innovations in farming following the example of introducing fully automated milking systems on the market.

Coming from observations of innovation processes in the context of various models based on economic theory, certain approaches and methods for the technological assessment in farming will be discussed against the background of theories to analyse technical advancement. The gained insights will be combined in the development of an overall concept for the

analysis of the technical impact for fully automated milking systems.

Part of the analysis of technical impact for AMS is to capture the motivation of potential users to adopt this new technology in an empirical study. The available results from literature were supplemented by a written survey of 5.210 dairy farms with more than 30 dairy cows in four German dairy farming areas.

The high investment costs of AMS are the main obstacle for this innovation at the moment. Also the associated costs for adaptation of the milking technique as well as the expectation of a high maintenance effort are important arguments from non-adopters against an investment in AMS.

Social arguments are on the other hand the main factors for potential adopters in their decision making process. Possible examples are health aspects or the expected flexibility and time saving. Another reason can be found in the pursuit for greater independence from contract workforce.

Compared to conventional techniques, the disadvantages of high investment costs as well as the low opportunity cost in the case of family farms through the time saving aspect of AMS prevent a more extensive adoption of this new technology at the moment. Additionally, future economical development will be hindered by the specific structure fixed costs of AMS. The financial funds of farms will be further limited through governmental market interventions in order to acquire additional milk quotas.

Therefore it can be shown, that even if the relative cost of purchasing AMS is higher than its relative productivity, we still see adoption of the innovative milking technique based on individual benefits. With the presented introduction of the individual benefit theory that plays a role in decision-making process of competitive techniques, it is now possible to explain the diffusion of AMS, even though the adoption of AMS in terms of maximizing profit would have to be rejected in single cases. A further specification of the decision-making factors with regards to personal benefits could be very helpful for ex ante estimations of diffusion processes in farming.

For the majority of potential users of AMS we can assume that expectations of performance and profit will outweigh the mostly social and economical benefits expected in the long term. This insight is opposed to the expected S-shaped distribution of AMS adopters. Contrary to the present tradition of demand-based diffusion research, for AMS we were able to

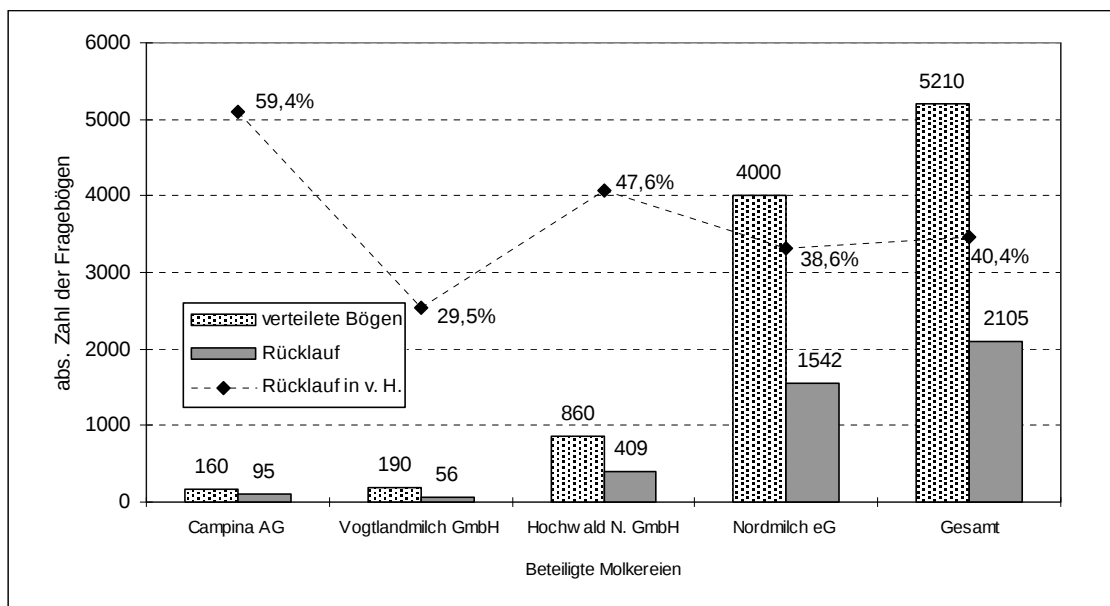
prove a diffusion process that is determined more by supply-side. Due to the fact of increased complexity of innovations in the diffusion processes, also in the agricultural sector, where processes are more and more described in terms of industrial coordination, one should give up the one-sided emphasis of socio-economical characteristics of potential adopters in favour of a growing supply-oriented diffusion research. Accordingly, we also have to expand future technological assessments specifically on manufacturers of these innovations.

All in all, we are not able to explain the diffusion of AMS sufficiently with the concept of factor-price-induced technical change. This is also shown in the fact that in spite of the introduction of AMS, we don't necessarily use more effective capital in dairy farms. The question, if we can see AMS as a technical advancement from an economical point of view, is therefore dependent on the individual circumstances for their use on dairy farms.

In view of the future development in this sector of dairy production we can therefore realize, that in terms of the expected market diffusion of automated milking systems in the foreseeable future, we won't see big changes in the structure of the dairy farms that can be traced back to the introduction of AMS.

Anhang

A-1: Rücklauf nach Molkereien



Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung.

Anhang

A-2: Kennzahl der in der Untersuchung beteiligten Molkereiunternehmen für das Jahr 1999

Unternehmen	Milcherfassung				Milchpreis ¹			Mengenabh. Bezahlung	
Name/Sitz	Rechts- form	Ge- biet ⁶	Mio. kg	Lieferanten	Lieferanten (in Befragung)	Auszahlungspreis 1999 ² (Pf.)		Abweichung vom regionalen Ver- gleichspreis (Pf.)	Ja/Nein
Nordmilch/Zeven	eG	NI, SH	3.672	15.004	4.000	WE (MZO) ³	56,6 (57,2) ⁴	-1,4 (-0,1) ⁴	Ja
						Han (NM) ³	56,3 (57,0) ⁴	-0,3 (+0,4) ⁴	Ja
						SH (NM) ³	56,3 (57,0) ⁴	-0,4 (+/-0,0) ⁴	Ja
Hochwald Nahrungsmittel-Werke/Thalfang	GmbH ⁷	RP, SL	454	2.149	860	60,47		+0,2	Nein
Vogtlandmilch/Plauen	GmbH ⁸	SN	188	190	190	59,3 (59,5) ⁵		+1,8 (+2,0) ⁵	Ja
Campina/Heilbronn	AG ⁹	BW	167	1.550	160	60,4 (60,7) ⁴		+1,1 (+1,4) ⁴	Ja

¹Die in der Tabelle angegebenen *Milchpreise* sind dem ZMP-Milchpreisvergleich-Jahresauswertung 1999 entnommen. ²Auszahlungspreis bei 4,2% Fett und 3,4% Eiweiß. ³Für die Fusionspartner der Nordmilch eG werden nach Gebiet und Betriebsstätte gesonderte Milchauszahlungspreise angegeben, da sich die Abrechnungssysteme erst im Laufe des Jahres 1999 anglichen (WE = Kammergebiet Weser-Ems, Han = Kammergebiet Hannover, SH = Schleswig-Holstein).

⁴Auszahlungspreis bzw. Abweichung vom regionalen Vergleichspreis bei 150.000 kg (500.000kg) Jahres-Anlieferungsmenge. ⁵Auszahlungspreis bzw. Abweichung vom regionalen Vergleichspreis bei 500.000 kg (2.000.000 kg) Jahres-Anlieferungsmenge.

⁶Hier ist das Haupteinfassungsgebiet des jeweiligen Unternehmens nach Bundesländern angegeben (Abk. gemäß Veterinär-Kontrollnummer).

⁷Muttergesellschaft Molkerei Erbeskopf eG. ⁸Gesellschafter: Molkereigenossenschaft Glauchau eG und Vogtlandmilch GmbH.

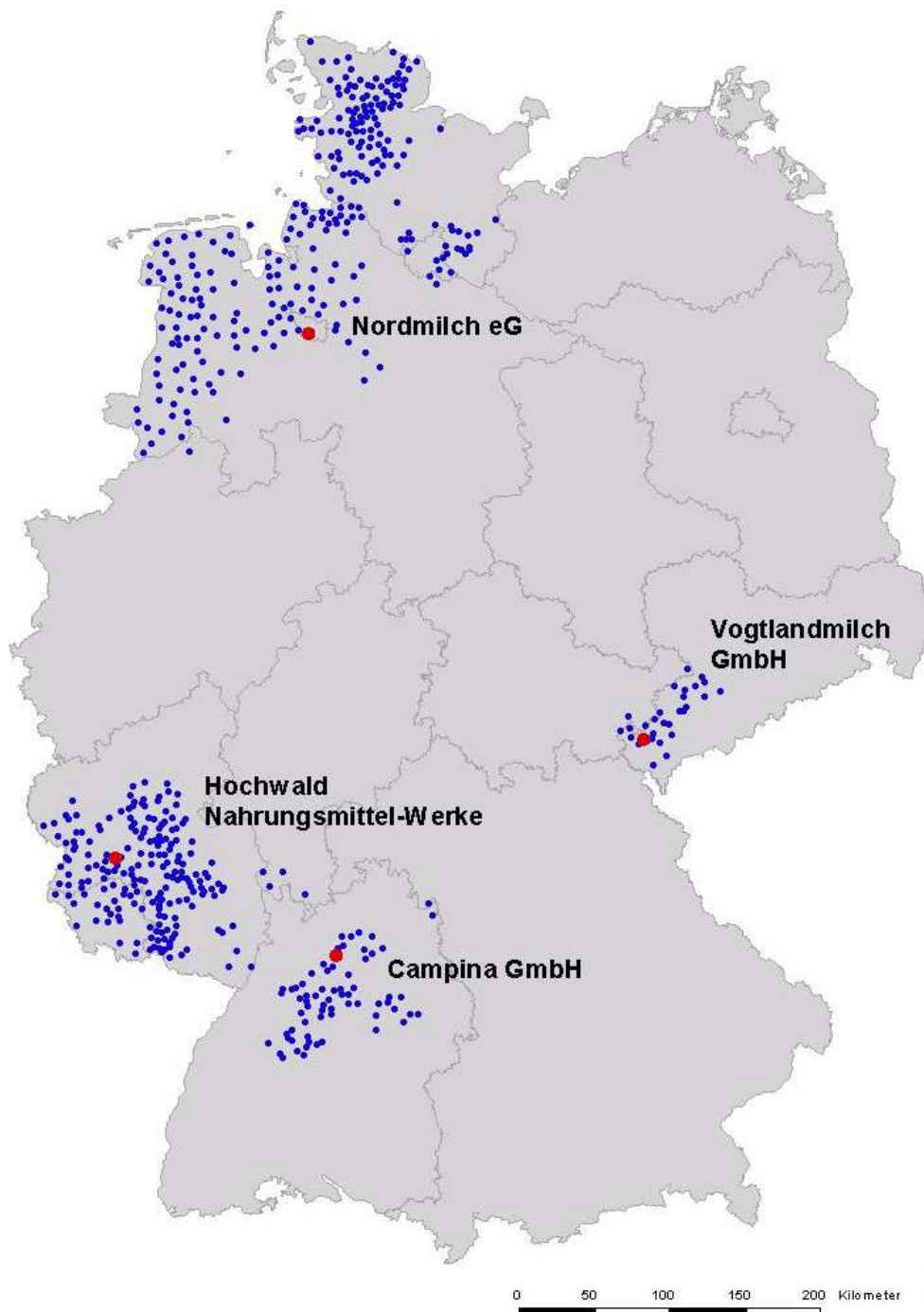
⁹Laut Beschluss der außerordentlichen Hauptversammlung vom 22. Dezember 1999 Umwandlung in die Rechtsform einer GmbH.

Anhang

Quellen:

ZMP [Milchpreisvergleich 1999]; VOLKSWIRTSCHAFTLICHER VERLAG [Süddeutscher Molkerei und Käserei Adresskalender 1999]; VOLKSWIRTSCHAFTLICHER VERLAG [Norddeutscher Molkerei und Käserei Adresskalender 1999]; SCHOMACKER, H. [persönliche Mitteilungen], ENGEL, K. H. [persönliche Mitteilungen], BAST, O. V. [persönliche Mitteilungen], Beer, o. V. [persönliche Mitteilungen]; O. V. [Fusion Hochwald/ Eifelperle], S. 11–12; O. V. [Campina], S. 4; VEAUTHIER, G. [Der Branchen-Primus], S. R6-R12; MURMANN, C. [Nächste Molkerei-Ehe], S. 20; O. V. [Geschäftsbericht 1999 Hochwald Nahrungsmittel-Werke GmbH].

A- 3: Übersicht über die räumliche Verteilung der zurückgesendeten Fragebögen¹



Kartengrundlage: ArcDeutschland'500 sowie ArcPLZ'96 der ESRI Gesellschaft für Systemforschung und Umweltplanung mbH, Kranzberg 1998.

¹Hierbei kennzeichnet jeder kleine Punkt mindestens einen Fragebogen aus einem Ort bzw. Zustellbereich der Deutschen Post AG. Die vier größeren Punkte beschreiben jeweils den heutigen Sitz der an der Befragung beteiligten Molkereien.

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- ABRAMOVITZ, M. [Trends]: Resource and output trends in the United States since 1870. In: American Economic Review, Papers and Proceedings, vol. 46 (1956), Nr. 1, S. 5-23.
- ACHLER, B. [Tüftler]: Melkroboter: Deutsche Tüftler haben die Nase vorn. In: top agrar, Jg. 18 (1989), H. 12, S. R6-R7.
- AGHION, P.; HOWITT, P. [Endogenous Growth]: Endogenous Growth Theory; Cambridge (Mass.)/ London 1998 (MIT Press).
- AKADEMIE FÜR TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG IN BADEN-WÜRTTEMBERG [Dokumentation 2000]: Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg – Dokumentation 2000, Stuttgart 2000 (Selbstverlag).
- ALBRECHT, H. [adoption-Forschung]: Zum heutigen Stand der adoption-Forschung in den Vereinigten Staaten. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 41, H. 1 u. 2, Münster 1963 (Landwirtschaftsverlag), S. 233-282.
- ALBRECHT, H. [Diffusionsprozess]: Die Verbreitung von Neuerungen – Der Diffusionsprozess. In: Der Förderungsdienst, Nr. 22, Sonderheft 2, Wien 1974, S. 33-40.
- ALBRECHT, H. [Innovationsprozesse]: Innovationsprozesse in der Landwirtschaft. Hrsg.: SOZIALWISSENSCHAFTLICHER STUDIENKREIS FÜR INTERNATIONALE PROBLEME (SSIP) E.V., Saarbrücken 1969 (Selbstverlag).
- ALCHIAN, A. A. [Uncertainty]: Uncertainty, Evolution and Economic Theory. In: Journal of Political Economy, vol. 58 (1950), Nr. 3, S. 211-221.
- ALCHIAN, A. A.; ALLEN, W. R. [Exchange and Production]: Exchange and Production: Competition, Coordination and Control, Belmont (Cal.) 1977 (Wadsworth).
- ALFA LAVAL AGRI [Melkfibel]: Die Melkfibel, Glinde o. J. (Selbstverlag).
- ARNDT, H. [Schöpferischer Wettbewerb]: Schöpferischer Wettbewerb und klassenlose Gesellschaft: Zugleich ein Beitrag zur Preis- und Beschäftigungslehre, Berlin 1952 (Duncker & Humblot).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- ARROW, K. J. [Economic Welfare]: Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In: The Rate and the Direction of Inventive Activity. A report of the National Bureau of Economic Research. Hrsg.: NELSON, R. R., Princeton 1962 (Selbstverlag), S. 605-625.
- ARROW, K. J. [Economic Implications]: The Economic Implications of Learning by doing, In: Review of Economic Studies, vol. 29 (1962), Nr. 3, S. 155-173.
- ARROW, K. J. [Substitution]: Capital-Labour Substitution and Economic Efficiency. In: The review of economics and statistics, vol. 43 (1961), Nr. 3, S. 225-250.
- ARTMANN, R. [Automatisches Melken]: Automatisches Melken – Konzepte und Melktechnik. In: Aktuelle Arbeiten aus Landtechnik und landwirtschaftlichem Bauwesen. Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Bd. 250, Darmstadt 1998 (Selbstverlag), S. 113–120.
- ARTMANN, R. [Sensor systems]: Sensor systems for milking robots. In: Computers and electronics in agriculture, Bd. 17 (1997), H. 1, S. 19–40.
- ARTMANN, R. [Technik]: Technik der automatischen Melksysteme. In: Automatische Melksysteme. Hrsg.: SCHÖN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Bd. 395, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 18–27.
- ARTMANN, R. U.A. [Technische Einrichtungen]: Technische Einrichtungen und erste Ergebnisse zur rechnergestützten Grund- und Kraftfuttermulage. In: Landtechnik, Jg. 37 (1982), H. 5, S. 261-264.
- AUERNHAMMER, H. [Elektronikeinsatz]: Elektronikeinsatz zur Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktion und des Managements in der Pflanzenproduktion. In: Elektronikeinsatz in der Landwirtschaft. Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 390, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 51–58.
- AUERNHAMMER, H. [IT in der Landwirtschaft]: IT in der Landwirtschaft von morgen – Visionen und erwartete Realitäten. In: Referate der 21. GIL-Jahrestagung in Freising-Weihenstephan 2000. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Hrsg.: BIRKNER, U. U.A., Bd. 13, Freising 2000 (Selbstverlag), S. 10-14.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- BALL, E. [Productivity]: Output, Input and Productivity Measurement in U. S. Agriculture, 1948-79. In: American Journal of Agricultural Economics, vol. 67 (1985), Nr. 3, S. 475-486.
- BALMANN, A. [Genetische Algorithmen]: Genetische Algorithmen zur normativen Verhaltensfundierung in ökonomischen Modellen? In: Referate der 18. GIL-Jahrestagung in Hohenheim. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Hrsg.: DOLUSCHITZ, R.; NOELL, C., Bd. 10, Stuttgart 1997 (Selbstverlag), S. 18-22.
- BALMANN, A. [Pfadabhängigkeiten]: Pfadabhängigkeiten in Agrarstrukturentwicklungen – Begriff, Ursachen und Konsequenzen, Berlin 1995 (Duncker & Humblot).
- BALMANN, A.; HAPPE, K. [Agentenbasierte Politik- und Sektoranalyse]: Agentenbasierte Politik- und Sektorenanalyse – Perspektiven und Herausforderungen. In: Agrarwirtschaft, Jg. 50 (2001), H. 8, S. 505-516.
- BÄNSCH, A. [Käuferverhalten]: Käuferverhalten, München/ Wien 2002 (Oldenbourg).
- BARELL, R.; MASON, G.; O'MAHONY, M. [Introduction]: Introduction. In: Productivity, innovation and economic performance. Hrsg.: BARELL, R.; MASON, G.; O'MAHONY, M., Cambridge 2000 (University Press), S. 1-37.
- BARNETT, H. G. [Innovation]: Innovation: the Basis of Cultural Change, New York u.a. 1953 (McGraw-Hill).
- BARTH, K. [Eutergesundheitskontrolle bei Milchkühen]: Untersuchung zur Nutzung der Infrarot-Thermographie zur Eutergesundheitskontrolle. In: Automatische Melksysteme. Hrsg.: SCHÖN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 395, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 224–229.
- BAST, O. V. [persönliche Mitteilungen]: Persönliche Mitteilungen der Campina GmbH, Heilbronn 1999 u. 2000.
- BAUSCH, T. [Stichprobenverfahren]: Stichprobenverfahren in der Marktforschung, München 1990 (Franz Vahlen).
- BEAL, G. M.; ROGERS, E. M. [ADOPTION]: The Adoption of two Farm Practices in a Central Iowa Community. Hrsg.: Iowa Agricultural and Home Economics Experiment Station, Special Report Nr. 26, Ames 1960 (Selbstverlag).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- BECHMANN, G. [Folgeprobleme der Technikbewertung]: TA-Konzept, Verfahren und Institutionalisierung - gesellschaftliche Folgeprobleme der Technikbewertung. In: Herausforderung der Gesellschaft durch den technischen Wandel: Informationstechnologie der Sprache, Biotechnologie, Technikdiskussion im Systemvergleich. Hrsg.: ZIMMERLI, W., Düsseldorf 1989 (VDI-Verlag), S. 185-232.
- BEER, O. V. [persönliche Mitteilungen]: Persönliche Mitteilungen der Vogtlandmilch GmbH, Plauen 1999 u. 2000.
- BELL T. [GPS]: Automatic tractor guidance using carrier-phase differential GPS. In: Computers and electronics in agriculture, Bd. 25 (2000), H. 1-2, S. 53–66.
- BERG, I. V. [Parlamentarische TA]: Parlamentarische TA in Europa: EPTA (European Parliamentary Technology Assessment Network). In: Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Hrsg.: PETERMANN, T.; COENEN, R., Veröffentlichungen des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 6, Frankfurt a. M./ New-York 1999 (Campus Verlag), S. 229-246.
- BERGER, T. [Simulationsmodelle]: Agentenbasierte räumliche Simulationsmodelle in der Landwirtschaft: Anwendungsmöglichkeiten zur Bewertung von Diffusionsprozessen, Ressourcennutzung und Politikoptionen. Agrarwirtschaft, Sonderheft 168, Bergen/ Dumme 2000 (Agrimedia).
- BERGER, T.; BRANDES, W. [Evolutionäre Ansätze]: Evolutionäre Ansätze in der Agrarökonomik. In: Agrarwirtschaft, Jg. 47 (1998), H. 7, S. 275-282.
- BERLOZNIK, R.; VAN LANGENHOVE, L. [Integration]: Integration of Technology Assessment in R&D Management Practices. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 58 (1998), S. 23-33.
- BERTH, R. [Innovationen]: Woran scheitern Innovationen? In Frankfurter Allgemeine Zeitung (F.A.Z.), Nr. 101, 3. Mai 1999, S. 33.
- BEUSMANN, V. [Betriebsgrößenstrukturwandel]: Analyse des landwirtschaftlichen Betriebsgrößenstrukturwandels unter Verwendung eines Markov-Modells mit variablen Übergangswahrscheinlichkeiten, Agrarwirtschaft Sonderheft Nr. 83, Hannover 1980 (Strothe).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- BEUSMANN, V. [Folgen des Einsatzes von BST]: Folgen des Einsatzes von BST in der deutschen Milcherzeugung. In: Schriftenreihe des BMELF (Hrsg.). Reihe A, H. 376, Münster 1989 (Landwirtschaftsverlag).
- BISCHOFF, T. [Produktionstechnik]: Zur Entwicklung der Produktionstechnik in der tierischen Erzeugung, insbesondere in der Milch- und Rindfleischproduktion. In: Die künftige Entwicklung der europäischen Landwirtschaft – Prognosen und Denkmodelle. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. Hrsg.: WEINSCHENCK, G., Bd. 10, München u.a. 1973 (BLV), S. 71-88.
- BLATTNER, N. [Messung]: Die Messung des technischen Fortschritts. Erkenntnisziele, Hauptmethoden und Hauptprobleme. In: Technischer Fortschritt – Kritische Untersuchung von Meß- und Prognosekonzepten. Hrsg.: BOMBACH, G.; BLATTNER, N., Göttingen 1976 (Otto Schwartz & Co.), S. 69–175.
- BMELF [Fortschritte in der Milchproduktion]: Biologisch-technische Fortschritte in der Milchproduktion und Proteingewinnung. Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Sonderheft 190, Hamburg/ Berlin 1975 (Paul Parey).
- BMELF [Statistisches Jahrbuch 2000]: Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland, Münster 2000 (Landwirtschaftsverlag).
- BODE, J. [Produktion von Information]: Betriebliche Produktion von Information, Köln 1993 (Deutscher Universitäts-Verlag).
- BOHLSSEN, E.; ARTMANN, R. [Erprobung Automatischer Melksysteme]: Erprobung automatischer Melksysteme (AMS) unter den Gesichtspunkten ökonomischer, hygienischer und ökologischer Aspekte, des Tierschutzes sowie struktureller Auswirkungen auf die Rinderhaltung Teil I: Technik, Tierverhalten und ökonomische Aspekte. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMVEL, Bd. 80, H. 2, Münster 1993 (Landwirtschaftsverlag) S. 262-280.
- BOLLMANN, P. [Technischer Fortschritt]: Technischer Fortschritt und wirtschaftlicher Wandel, Heidelberg 1990 (Physica-Verlag).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- BOMBACH, G. [Produktivitätsmessung]: Möglichkeiten der Produktivitätsmessung, Aussagekraft alternativer Produktivitätsmasse und Abgrenzung des Themas. In: Technischer Fortschritt – Kritische Untersuchung von Meß- und Prognosekonzepten. Hrsg.: BOMBACH, G.; BLATTNER, N., Göttingen 1976 (Otto Schwartz & Co.), S. 17-68.
- BOMBACH, G.; BLATTNER, N. [Problemstellung]: Einleitung: Problemstellung, Lösungsweg und Hauptergebnisse des Gutachtens. In: Technischer Fortschritt – Kritische Untersuchung von Meß- und Prognosekonzepten. Hrsg.: BOMBACH, G.; BLATTNER, N., Göttingen 1976 (Otto Schwartz & Co.), S. 1-14.
- BORNSCHEUER, H. [Abschätzung der Wirtschaftlichkeit]: Einführung des vollautomatischen Melkens – Eine exemplarische Abschätzung der Wirtschaftlichkeit unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen auf Tier und Produktionssystem, Göttingen 1989 (Selbstverlag).
- BORTZ, J.; DÖRING, N. [Forschungsmethoden]: Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler, Berlin/ Heidelberg 1995 (Springer).
- BÖTTGER, J. [Innovationsförderung]: Möglichkeiten und Grenzen staatlicher Innovationsförderung. In: Das Management von Innovationen. Hrsg.: STAUDT, E., Frankfurt a. M. 1986 (Frankfurter Zeitung Blick durch die Wirtschaft), S. 601-610.
- BOULDING, K. E. [evolutionary economics]: What is evolutionary economics? In: Journal of Evolutionary Economics, Jg. 1 (1991), H. 1, S. 9-17.
- BRAMLEY, A. J. [Mastitis]: Mastitis and Machine Milking. In: Machine milking and lactation. Hrsg.: BRAMLEY, A. J. U.A., Bekshire/ Vermont 1992 (Insight Books), S. 343-372.
- BRANDES, W. [Schreibtisch-Ökonomie]: Über die Grenzen der Schreibtisch-Ökonomie, Tübingen 1985 (Mohr).
- BRINKMANN, TH. [Land- und forstwirtschaftliche Produktion]: Land- und forstwirtschaftliche Produktion Versicherungswesen. In: Grundriss der Sozialökonomik. Hrsg.: ALTMANN, S. U.A., VII. Abteilung, 3. Buch, Tübingen 1922 (Mohr).
- BROCKHOFF, K. [Forschung und Entwicklung]: Forschung und Entwicklung – Planung und Entwicklung, 5. Aufl., München u.a. 1999 (Oldenbourg).
- BROWN, L. A. [Innovation]: Innovation Diffusion: A new Perspektive, London 1981 (Methuen young books).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- BRUCKMAIER, R.; MEYER, H. [Physiologische Anforderungen]: Physiologische Anforderungen beim automatischen Melken. In: Automatische Melksysteme. Hrsg.: SCHÖN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 395, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 48–52.
- BRUNSCH, R. [PRECISION FARMING]: Precision Farming auch im Stall. In: Neue Landwirtschaft, Jg. 11 (2000), H. 11, S. 74-78.
- BULLINGER, H.-J. [Technikpotentialabschätzung]: Technikpotentialabschätzung – Wissenschaftlicher Anspruch und Wirklichkeit. In: Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: KORNWACHS, K., Stuttgart 1991 (Poeschel), S. 103-114.
- BUNDESREGIERUNG [Agrarbericht 2000]: Agrarbericht der Bundesregierung 2000. Hrsg.: BMELF, Bonn 2000 (Selbstverlag).
- BÜRGE, H. D.; HALLER, C.; BINDER, M. [F&E-Management]: F&E-Management, München 1996 (Franz Vahlen).
- BÜSCHER, W. [Prozesssteuerung/ -automatisierung]: Prozesssteuerung/ -automatisierung in der Tierproduktion. In: Agrarinformatik. Hrsg.: DOLUSCHITZ, R.; SPILKE, J., Stuttgart 2002 (Eugen Ulmer), S. 241–265.
- BYÉ, P.; FONTE, M. [AGRARTECHNIKEN]: Auf dem Weg zu wissenschaftlich begründeten Agrartechniken. In: Land, Agrarwirtschaft und Soziologie, Zeitschrift für Land- und Agrarsoziologie, Jg. 9 (1992), H. 3, S. 163-181.
- CAMPBELL, R. R. [adoption process]: A suggested paradigm of the individual adoption process. In: Rural sociology, vol. 31 (1966), Nr. 4, S. 458-466.
- CANTNER, U.; HANUSCH, H. [Evolutorische Ökonomik]: Evolutorische Ökonomik - Konzeption und Analytik. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 26 (1997), H. 8-9, S. 776-785.
- CASADY, W. W.; PFOST, D. L. [Farmer-Dealer Relationships]: Farmer-Dealer Relationships in Precision Agriculture. In: Precision Agriculture '97, Bd. 2. Hrsg.: STAFFORD, J. V., Oxford 1998, 2. Aufl. (BIOS), S. 975–982.
- CBS (Landbouwtelling): Bedrijven met vee (Tabelle: Bedrijven met melk- en kalfkoeien). In: Centraal Bureau voor de Statistiek (CSB): Landbouwtelling, Voorburg/ Herleen 2003, verfügbar: <http://statline.cbs.nl> (eingesehen am 08. März 2003).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- CHRISTENSEN, R. [Vorhersagetechnik]: Prinzipien der Vorhersagetechnik. In: Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: KORNWACHS, K., Stuttgart 1991 (Poeschel), S. 91-101.
- CIELEJEWSKI, H.: [Automatisches melken]: Automatisches melken: Was ist Stand der Technik? In: Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen Lippe, Jg. 155 (1998), H. 45, S. 30-32.
- COATES, J. [Boom time]: Boom time in forecasting. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 62 (1999), S. 37-40.
- COATES, J. [Technikfolgenabschätzung in den USA]: Technikfolgenabschätzung in den USA – Vergangenheit und Perspektiven für die Zukunft. In: Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Hrsg.: PETERMANN, T.; COENEN, R., Veröffentlichungen des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 6, Frankfurt a. M./ New-York 1999 (Campus Verlag), S. 53-64.
- COATES, V.; FABIAN, T. [Europe and Japan]: Technology Assessment in Europe and Japan. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 22 (1982), S. 343-361.
- COBB, P. H.; DOUGLAS, CH. W. [Theory]: A Theory of Production. In: American Economic Review, vol. 18 (supplement/ 1928), Nr. 1, S. 139-165.
- COENEN, R.; FÜRNIß, B.; KUPSCH, C. [Bestandsaufnahme]: Technikfolgenabschätzung in Deutschland: eine Bestandsaufnahme in Zahlen. In: Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Hrsg.: PETERMANN, T.; COENEN, R., Veröffentlichungen des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 6, Frankfurt a. M./ New-York 1999 (Campus Verlag), S. 219-228.
- COPP, J. H.; SILL, M. L.; BROWN, E. J. [Information Sources]: The Function of Information Sources. In: Rural Sociology, vol. 23 (1958), Nr. 2, S. 146-157.
- CORICELLI, F.; DOSI, G. [economic change]: Coordination and order in economic change and the interpretative power of economic theory. In: Technical change and economic theory. Hrsg.: DOSI, G. U.A., London 1988 (Pinter Publishers), S. 124-147.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- CRATZIUS, M. [Innovationsprozesse]: Die Einbindung des Absatz- und Produktionsbereichs in Innovationsprozesse, Wiesbaden 2003 (Deutscher Universitäts-Verlag).
- DABERKOW, S. G. [Adoption rates]: Adoption rates for recommended crop management practices: Implications for Precision Farming. In: Precision Agriculture `97, Bd. 2. Hrsg.: STAFFORD, J. V., Oxford 1998, 2. Aufl. (BIOS), S. 941–948.
- DAMANPOUR, F.; GOPALAKRISHNAN, S. [Organizational adaption]: Organizational adaption and innovation: The dynamics of adaption innovation types. In: The dynamics of innovation: strategic and marginal implications. Hrsg.: BROCKHOFF, K.; CHAKRABATI, A. K.; HAUSCHILDT, J., Berlin u.a. 1999 (Springer), S. 57-80.
- DASGUPTA, P.; STIGLITZ, J. [Uncertainty]: Uncertainty, Industrial Structure and the Speed of R&D. In: Bell Journal of Economics, vo. 11 (1980), H. 1, S. 1-28.
- DAWSON, C. J. [Management]: Management for Spatial Variability. In: Precision Agriculture `97, Bd. 1. Hrsg.: STAFFORD, J. V., Oxford 1998, 2. Aufl. (BIOS), S. 45–58.
- DE ARAÚJO, J. [Technology diffusion]: Technology diffusion, stability and decay: some results. In: Economics with heterogenous interacting agents. Hrsg.: KIRMAN, A.; BENOÎT, J., Berlin/ Heidelberg 2001 (Springer), S. 89-108.
- DE HAEN, H. [Systems models]: Systems models to simulate structural change in agriculture. In: European Review of Agricultural Economics, vol. 1 (1973), Nr. 4, S. 367-389.
- DE KONING, K. U.A. [Milk cooling systems]: Milk cooling systems for automatic milking. In: The first North American Conference on robot milking, Toronto CAN, Wageningen 2002 (Wageningen Pers), S. V-25-V-35.
- DE PAY, D. [Informationsmanagement]: Informationsmanagement von Innovationen, Wiesbaden, 1995 (Gabler).
- DEUTSCHER BUNDESTAG [Klonen von Tieren]: Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zum TA-Projekt „Chancen und Risiken der Entwicklungen und Anwendungen des Klonens sowie der Gentechnik und der Reproduktionstechnik bei der Züchtung von Tieren für die

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Forschung, bei der Züchtung von Labortieren und bei der Nutztierzucht“, BT.-Drs. 14/3968, Berlin 2000.
- DIERKES, M.; HÄHNER, K. [Konzeptentwicklung]: Konzeptentwicklung von Technikfolgenabschätzung: Rückblick und Ausblick. In: Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Hrsg.: PETERMANN, T.; COENEN, R., Veröffentlichungen des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 6, Frankfurt a. M./ New-York 1999 (Campus Verlag), S. 97-1138.
- DINKELBACH, W. [Heuristische Verfahren]: Stichwort Heuristische Verfahren. In: Gabler Wirtschaftslexikon, 14. Aufl., Wiesbaden 1997 (Gabler).
- DODD, F.; HALL, H. [History and Development]: History and Development. In: Machine milking and lactation. Hrsg.: BRAMLEY, A. J. U.A., Bekshire/ Vermont 1992 (Insight Books), S. 1-34.
- DOLUSCHITZ, R. [Precision Dairy Farming]: Precision Dairy Farming – Integrativer Ansatz für eine nachhaltige Milcherzeugung. In: Zeitschrift für Agrarinformatik, Bd. 11 (2003), H. 2, S. 19-25.
- DOLUSCHITZ, R. [Technischer Wandel]: Technischer Wandel in der Milchproduktion. In: Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A, H. 408, Münster, 1992 (Landwirtschaftsverlag).
- DOLUSCHITZ, R.; JUNGBLUTH, T. [Precision Agriculture]: Precision Agriculture – Notwendigkeit, Stand der Technik und Perspektiven. In: B&Bagrar, o. Jg. (2004), H. 5, S. 166-170.
- DOLUSCHITZ, R.; SPILKE, J. [Agrarinformatik]: Agrarinformatik, Stuttgart 2002 (Eugen Ulmer).
- DOLUSCHITZ, R.; TRUNK, W. [Betriebswirtschaftliche Beurteilung]: Betriebswirtschaftliche Beurteilung der Milchviehhaltung in Abhängigkeit von der Betriebsgröße. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 71., H. 3, Hamburg/ Berlin 1993 (Paul Parey), S. 256-270.
- DOMAR, E. D. [Foreword]: Essays in the Theory of Economic Growth, New York 1957 (Oxford University Press), S. 3-15.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- DOSI, G. [innovative process]: The nature of innovative process. In: Technical change and economic theory. Hrsg.: DOSI, G. u.A., London 1988 (Pinter Publishers), S. 221-238.
- DOSI, G.; ORSENIGO, L. [Coordination and transformation]: Coordination and transformation: An overview of structures behaviors and change in evolutionary environments. In: Technical change and economic theory. Hrsg.: DOSI, G. u.A., London 1988 (Pinter Publishers), S. 13-37.
- DREWS, M. [Produkt- und Verfahrensinnovation]: Produkt- und Verfahrensinnovation – Markt, Methode und ein praktisches Beispiel. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 72, Münster 1994 (Landwirtschaftsverlag), S. 248-264.
- DRZENIEK, M.; NEIMKE, M. [WASSILY LEONTIEF]: Wassily Leontief – beobachten, messen, erklären und prüfen. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 28 (1999), H. 5, S. 688-692.
- DUNN, N. [Robot milking]: Robot milking systems proving the way ahead for many herds. In: Better Farming, o. Jg., o. H., Vankleek Hill 2003, verfügbar: http://131.104.232.9/animalnet/2003/2-2003/animalnet_february_5-2.htm (eingesehen am 25. März 2003).
- DURTH, R. [Diffusion]: Diffusion von Innovationen. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 30 (2001), H. 12, S. 1625-1629.
- DÜVELSDORF, A.; DÜCK, M. [Verfahren]: Verfahren und Vorrichtungen zum maschinellen Ansetzen jeweils eines Zitzenbeckers. Patent EP 0 300 115.
- DÜVELSDORF, A.; DÜCK, M. [Vorrichtungen]: Verfahren und Vorrichtungen zum Melken und ggfs. Füttern von freilaufenden, Identifizierungsmittel tragenden Kühen. Patent DE 37 02 465.
- EARL, R.; THOMAS, G.; BLACKMORE, G. S. [The potential role of GIS]: The potential role of GIS in autonomous field operations. In: Computers and electronics in agriculture, Bd. 25 (2000), H. 1-2, S. 107–120.
- ECKL, J. [Melkroboter halten Einzug]: Erste Melkroboter halten Einzug in deutsche Milchviehbetriebe. In: Bauernzeitung, Jg. 43 (1997), H. 16, S. 30-32.
- ECKL, J. [Melkroboter]: Melkroboter – wie weit sind die Holländer? In: dlz agrarmagazin, Jg. 44 (1993), H. 1, S. 62-66.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- ECKL, J. [Roboterarm]: Roboterarm ersetzt Hände des Melkers: Wann wird er automatisierte Kuhstall praxisreif? In: dlz agrarmagazin, Jg. 39 (1988), H. 9, S. 1326-1328.
- EICKHOF, N.; STRECKER, D. [neue Wachstumstheorie]: Bedeutung der neuen Wachstumstheorie für Forschungs- und Technologiepolitik. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 28 (1999), H. 2, S. 234–240.
- ENGEL, K. H. [persönliche Mitteilungen]: Persönliche Mitteilungen der Hochwald Nahrungsmittel-Werke GmbH, Thalfang 1999 u. 2000.
- ENGLMANN, F. C. [Technischer Fortschritt]: Technischer Fortschritt: Diffusion, Erträge und Beschäftigung. In: Tübinger wirtschaftswissenschaftliche Abhandlungen Tübingen. Hrsg.: MITGLIEDER DER WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN, Bd. 32, Tübingen 1989 (Mohr).
- ENQUETE-KOMMISSION „GESTALTUNG DER TECHNISCHEN ENTWICKLUNG, TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG UND -BEWERTUNG“ [Rinderwachstumshormon]: Gentechnologisch hergestelltes Rinderwachstumshormon, BT.-Drs. 11/4607, Zur Sache 3/89, Bonn 1989.
- ENQUETE-KOMMISSION „GESTALTUNG DER TECHNISCHEN ENTWICKLUNG; TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG UND BEWERTUNG“ [Bericht]: Bericht der Enquete-Kommission „Gestaltung der technischen Entwicklung; Technikfolgen-Abschätzung und -Bewertung“. BT.-Drs. 11/7991, Bonn 1990.
- ENQUETE-KOMMISSION „SCHUTZ DER ERDATMOSPHERE“ [Klimaschutz]: Schutz der grünen Erde: Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz, Bonn 1994 (Economica-Verlag).
- ERDMANN, G. [evolutionäre Innovationstheorie]: Elemente einer evolutionären Innovationstheorie, Tübingen 1993 (Mohr).
- EUROPÄISCHE KOMMISSION [Grünbuch zur Innovation]: Grünbuch zur Innovation. Bulletin der Europäischen Union, Beilage 5/95, Brüssel 1995 (Selbstverlag).
- FABER, M.; PROOPS, J. [Evolution]: Evolution in biology, physics and economics: A conceptual analysis. In: Evolutionary theories of economic and technological change. Hrsg.: SAVIOTTI, P. P.; METCALFE, J. S., Chur u.a. 1991 (Harwood Academic Publishers), S. 58-87.
- FANTAPIÉ ALTOBELLI, C. [Diffusion]: Die Diffusion neuer Kommunikationstechniken in der Bundesrepublik Deutschland, Heidelberg 1990 (Physica-Verlag).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- FEHL, U. [Unternehmenstheorie]: Unternehmertheorie, Unternehmertypen und Marktanalyse. In: Markt und Wettbewerb Festschrift für Ernst Heuß zum 65. Geburtstag. Hrsg.: BORCHERT, M.; FEHL, U.; OBERENDER, P., Bern/ Stuttgart 1987 (Haupt), S. 17-38.
- FESTINGER, L. [Cognitive Dissonance]: A Theory of Cognitive Dissonance, Stanford 1957 (Stanford University Press).
- FIB (FORSCHUNGS-, INDUSTRIE- UND UMWELTBERATUNGSGESELLSCHAFT MBH) [Mark-erbsenstärke]: Marktchancen der Mark-erbsenstärke. Hrsg.: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V., Münster 1997 (Landwirtschaftsverlag).
- FISCHER, A. J.; ARNOLD, A. J.; GIBBS, M. [Information]: Information and the Speed of Innovation Adoption. In: American Journal of Agricultural Economics, vol. 78 (1996), Nr. 4, S. 1073-1081.
- FLEISCHER, K. [Die geschichtete Zufallsauswahl]: Die geschichtete Zufallsauswahl. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 28. (1999), H. 6, S. 816-818.
- FLEISCHMANN, W. [Milchwirtschaft]: Lehrbuch der Milchwirtschaft. Leipzig 1908 (M. Heinsius Nachfolger).
- FLIEGEL, F.; KIVLIN, J. E. [Farmer's Perceptions]: Farmer's Perceptions of Farm Practice Attributes. In: Rural Sociology, 31 (1966), Nr. 2, S. 197-206.
- FÖRSTER, M. U.A. [Erste Erfahrungen]: Erste Erfahrungen mit dem automatischen Melken am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim der Tierärztlichen Fakultät München. In: Außenklimaställe und automatische Melksysteme in der Milchviehhaltung. Hrsg.: LANDTECHNIK WEIHENSTEPHAN; ALB BAYERN E.V., Freising 1997 (Selbstverlag), S. 115–122.
- FRANKLIN, S.; GASSER, A. [Agent]: Is it an agent, or just a program? A Taxonomy for Autonomous Agents. In: Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, Berlin u.a. 1997 (Springer), S. 21-35.
- FREEMAN, C. [Industrial Innovation]: The Economics of Industrial Innovation, London 1990 (Pinter Publishers).
- GABLER, E. [Melkeinrichtung]: Melkeinrichtung, vorzugsweise für große Milchviehbestände. Patent DD 82 592.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- GABLER, E.; BÖHNISCH, J.; HEMPEL, G.; SEIBT, G. [Stallanlage]: Stallanlage, vorzugsweise für große Milchviehbestände. Patent DE 2 142 541.
- GALBRAITH, J. K. [Capitalism]: American Capitalism: The concept of countervailing power, Boston 1956 (Houghton Mifflin).
- GALBRAITH, J. K. [New Industrial State]: The New Industrial State, Boston 1967 (Houghton Mifflin).
- GERBER, S. [Einstellung]: Einstellungen von Landwirten zum Melkroboter – Eine Studie über Innovationsverhalten, Diplomarbeit. an der Universität Hohenheim, Stuttgart 1999 (unveröffentlicht).
- GERS-GRAPPENHAUS, C. [Melkroboter]: Melkroboter. Rechnet sich die neue Technik? In: top agrar, Jg. 26 (1997), H. 3, S. R6–R9.
- GERYBADZE, A. [Innovation]: Innovation, Wettbewerb und Evolution: Eine mikroökonomische Untersuchung des Anpassungsprozesses von Herstellern und Anwendern neuer Produzentengüter, Tübingen 1982 (Mohr).
- GIBBONS, J. [Entwicklungsgeschichte]: Technikfolgenabschätzung am Office for Technology Assessment: Die Entwicklungsgeschichte eines Experiments. In: Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: KORNWACHS, K., Stuttgart 1991 (Poeschel), S. 23-47.
- GICK, W. [Innovationspolitik]: Innovationspolitik. In: Wirtschaftspolitik im Wandel der Zeit. Hrsg.: KOCH, L. T., München/ Wien 2001 (Oldenbourg), S. 165–180.
- GILBERT, R. J.; NEWBERY, D. M. G. [Preemptive Patenting]: Preemptive Patenting and the Persistences of Monopoly. In: American economic Review, vol. 72 (1988), Nr. 3, S. 514-526.
- GLEICH, A. v. [Vorsorgeprinzip]: Vorsorgeprinzip. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung Bd. 1. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 287-293.
- GÖCKE, M. [Learning-by-doing]: Learning-by-doing und endogenes Wachstum, Heidelberg 2000 (Physika-Verlag).
- GOTTSCHALK, A. U.A. [Melken]: Melken - Milch vom Euter zum Tank. Stuttgart 1986 (Eugen Ulmer).
- GOTTSCHALK, A. U.A. [Rinderzucht]: Rinderzucht und Rinderhaltung, München 1983 (BLV Verlagsgesellschaft).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- GRABOWSKI, R. [Induced Innovation Model]: The Implications of an Induced Innovation Model. In: Economic Development and Cultural Change, Vol. 27 (1979), Nr. 4, S. 723-734.
- GRAUMANN, M. [Wettbewerbstheorie]: Leitbilder der Wettbewerbstheorie. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 22 (1993), H. 8-9, S. 659-662.
- GRAY, L. [OTA Reports]: On „Complete“ OTA Reports. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 22 (1982), S. 299-319.
- GROSSKOPF, W. [„Simulation“]: „Simulation“ – Anwendungsmöglichkeiten in der Agrarökonomie. In: Agrarwirtschaft, Jg. 22 (1973), H. 1, S. 1–7.
- GROSSKOPF, W. [Prognose]: Entwicklung und Stand der Prognose im Agrarbereich. In: Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft – Tendenzen, Auswirkungen, Beeinflussung. Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (Hrsg.), Bd. 17, Münster 1980 (Landwirtschaftsverlag), S. 133-140.
- GROSSMAN, G. M.; HELPMAN, E. [Innovation]: Innovation and Growth in the Global Economy, Cambridge (Mass.)/ London 1995 (MIT Press).
- GROSSMAN, G. M.; HELPMAN, E. [Theory of Growth]: Quality Ladders in the Theory of Growth. In: Review of Economic Studies, vol. 58 (1991), Nr. 1, S. 43–61.
- GRUPP, H. [Messung]: Messung und Erklärung des technischen Wandels Grundzüge einer empirischen Innovationstheorie, Berlin u.a. 1997 (Springer-Verlag).
- GWB: Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen vom 26. August 1998, BGBl I, S. 2521.
- HAAGEN, K.; PERTLER, R. [Methoden]: Methoden der Statistik, Band I, Stuttgart u.a. 1976 (Kohlhammer).
- HAFERMALZ, O. [Schriftliche Befragung]: Schriftliche Befragung – Möglichkeiten und Grenzen, Wiesbaden 1976 (Gabler).
- HAGEMANN, H. [Strukturwandel und Beschäftigung]: Wirtschaftliches Wachstum, technischer Fortschritt, Strukturwandel und Beschäftigung. In: Wachstum, Strukturwandel und Wettbewerb: Festschrift für Klaus Herdzina. Hrsg.: WALTER, H.; HEGNER, S.; SCHECHLER, J. M., Stuttgart 2000 (Lucius und Lucius), S. 51-70.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- HAGER, W.; WESTERMANN, R. [Planung und Auswertung von Experimenten]: Planung und Auswertung von Experimenten. In: Enzyklopädie der Psychologie. Hrsg.: FEGER, H.; BREDEKAMP, J., THEMENBEREICH B, Serie I, Bd. 5, Göttingen 1983 (Hogrefe), S. 24-238.
- HANAU, A.; RUSTEMEYER, F. C. [Produktivitätsbegriff]: Der Produktivitätsbegriff - Definition, Messung und Anwendung. In: Agrarwirtschaft, Jg. 14 (1965), H. 1, S. 3-11.
- HARDES, H.-D.; WEBER, S. [Preisdifferenzierung]: Preisdifferenzierung – theoretische Grundlagen und Fallbeispiele. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 29 (2000), H. 2, S. 230–237.
- HARMS, J. [Datenmanagement]: Datenmanagement in einem modernen Milchviehbetrieb mit rechnergesteuertem Verfahren zum Füttern und Melken – Ansätze zur anwenderorientierten Aufbereitung. In: Referate der 21. GIL-Jahrestagung in Freising-Weihenstephan 2000. In: Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Hrsg.: BIRKNER, U. U.A., Bd. 13, Freising 2000 (Selbstverlag), S. 56-59.
- HARRIS, D. [Risk Management]: Risik Management in Precision Farming. In: Precision Agriculture '97, Bd. 2. Hrsg.: STAFFORD, J. V., Oxford 1998, 2. Aufl., (BIOS), S. 949-956.
- HARROD, R. F. [dynamic economics]: Towards a dynamic economics: some recent developments of economic theory an their application to policy, London 1970 (McMillan).
- HARSANYI, J. C. [Games]: Games with incomplete information played by “Bayesian” Players, Part I-III. In: Management Science, vol. 14 (1967), Nr. 3, 5 und 7, S. 159-182, S. 320-334 und S. 486-502.
- HARSANYI, J. C. [General theory]: A general theory of rational behavior in Game Situations. In: Econometrica, vol. 34 (1966), Nr. 3, S. 613-634.
- HARSANYI, J. C.; SELTEN, R. [Nash solution]: A generalised Nash Solution for two-person bargaining games with incomplete information. In: Management Science, vol. 18 (1972), Nr. 5, S. 80-106.
- HASLINGER, F. [nachhaltige Entwicklung]: Zum Konzept der „nachhaltigen Entwicklung“. In: Neuere Entwicklungen in der Umweltökonomie. Hrsg.: FESER, H.-D.; HAUFF, M. v., Regensburg 1997 (transfer), S. 3-16.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- HASSINGER, E. [adoption process]: Stages in the adoption process. In: Rural sociology, vol. 24 (1959), Nr. 1, S. 52-53.
- HAUSCHILDT, J. [Innovationsmanagement]: Innovationsmanagement, München 1993 (Franz Vahlen).
- HAYAMI, Y. [Induced Innovation]: Induced Innovation, Green Revolution and Income Distribution: Comment. In: Economic Development and Cultural Change, Vol. 30 (1981), Nr. 1, S. 169-176.
- HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. [A Comment]: Professor Rosenberg and the Direction of Technological Change: A Comment. In: Economic Development and Cultural Change, Vol. 21 (1973), Nr. 2, S. 352-355.
- HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. [Agricultural Development]: Agricultural Development - An International Perspective, Baltimore/ London 1985 (The John Hopkins University).
- HAYEK, F. A. v. [Ordnung]: Evolution und spontane Ordnung [Vortrag vom 5. Juli 1983, Zürich]. In: Die Anmaßung von Wissen. Hrsg.: KERBER, W., Neue Freiburger Studien, Tübingen 1996 (Mohr), S. 102-113.
- HAYEK, F. A. v. [Phänomene]: Die Theorie komplexer Systeme [Erstveröffentlichung des engl. Originals 1964]. In: Die Anmaßung von Wissen. Hrsg.: KERBER, W., Neue Freiburger Studien, Tübingen 1996 (Mohr), S. 281-306.
- HAYEK, F. A. v. [Werte]: Die drei Quellen der menschlichen Werte [Erstveröffentlichung des engl. Originals 1979]. In: Die Anmaßung von Wissen. Hrsg.: KERBER, W., Neue Freiburger Studien, Tübingen 1996 (Mohr), S. 38-70.
- HAYS, W. [Statistics]: Statistics for the social sciences, London u.a. 1976 (Holt, Rinehart and Winston).
- HEERTJE, A.; WENZEL, H.-D. [Volkswirtschaftslehre]: Grundlagen der Volkswirtschaftslehre, Berlin u.a. 1997 (Springer).
- HEGNER, S.; SCHECHLER, J. M. [Internet-Ökonomie]: Über das Verhältnis von Innovatoren und Imitatoren in der Internet-Ökonomie. In: Wachstum, Strukturwandel und Wettbewerb: Festschrift für Klaus Herdzina. Hrsg.: WALTER, H.; HEGNER, S.; SCHECHLER, J. M., Stuttgart 2000 (Lucius und Lucius), S. 493-518.
- HEIN, K. [Melkroboter im Praxiseinsatz]: Reif für große Herden? Melkroboter im Praxiseinsatz. In: Neue Landwirtschaft, Jg. 9 (1998), H. 11, S. 50-54.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- HEINEN, E. [Entscheidungstheorie]: Stichwort Entscheidungstheorie. In: Gabler Wirtschaftslexikon, 14. Aufl., Wiesbaden 1997 (Gabler).
- HELMSTEDTER, E. [Stellenwert des technischen Fortschritts]: Stellenwert des technischen Fortschritts aus wirtschaftlicher Sicht. In: Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft – Tendenzen, Auswirkungen, Beeinflussung. Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (Hrsg.), Bd. 26, Münster 1990 (Landwirtschaftsverlag), S. 13-21.
- HENNECKE, H. J. [Hayek]: Friedrich August von Hayek: Die Tradition der Freiheit, Düsseldorf 2000 (Verlag Wirtschaft und Finanzen).
- HENNING, K. [Technikgestaltung]: Gute Technikbewertung ist Technikgestaltung von morgen. In: Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Hrsg.: PETERMANN, T.; COENEN, R., Veröffentlichungen des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 6, Frankfurt a. M./ New-York 1999 (Campus Verlag), S. 41-46.
- HENRICHSMEYER, W. U.A. [Volkswirtschaftslehre]: Einführung in die Volkswirtschaftslehre, Stuttgart 1978 (Eugen Ulmer).
- HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1]: Agrarpolitik Band 1 Agrarökonomische Grundlagen, Stuttgart 1991 (Eugen Ulmer).
- HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 1]: Agrarpolitik Band 1 Agrarpolitische Grundlagen, Stuttgart 1991 (Eugen Ulmer).
- HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H. P. [Agrarpolitik Bd. 2]: Agrarpolitik Band 1 Bewertung und Willensbildung, Stuttgart 1994 (Eugen Ulmer).
- HENZE, A. [Marktforschung]: Marktforschung: Grundlage für Marketing und Marktpolitik, Stuttgart 1994 (Eugen Ulmer).
- HENZE, A. [Produktionsmittel]: Die Produktionsmittel der Landwirtschaft, Stuttgart 1987 (Eugen Ulmer).
- HERDZINA, K. [Mikroökonomik]: Einführung in die Mikroökonomik, München 1991 (Franz Vahlen).
- HERDZINA, K. [Wettbewerbspolitik]: Wettbewerbspolitik, Stuttgart 1999 (Lucius & Lucius).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- HERRMANN, K. [Vom Röhrchen zum Roboter]: Vom Röhrchen zum Roboter – Die Geschichte der Melkmaschine. In: Die Milch Geschichte und Zukunft eines Lebensmittels. Hrsg.: Ottenjahn, H.; Ziessow, K. H., Cloppenburg 1996 (Museumsdorf Cloppenburg), S. 75-90.
- HERRMANN, M. [Volkswirtschaftslehre]: Grundzüge der Volkswirtschaftslehre, Stuttgart 2001 (Schäffer Poeschel).
- HEUER, G. C. [Forschung]: Forschung und technischer Fortschritt, Meisenheim 1970 (Anton Hain).
- HEUß, E. [Markttheorie]: Allgemeine Markttheorie; St. Gallener wirtschaftswissenschaftliche Forschungen, Bd. 21, Tübingen 1965 (Mohr).
- HICKS, J. R. [Theory]: The Theory of Wages, London 1932 (MacMillan).
- HILLERTON, J. E. [Milking equipment]: Milking equipment for robotic milking. In: Computers and electronics in agriculture, Bd. 17 (1997), H. 1, S. 41-51.
- HOCKMANN, H. [Produktivität]: Niveau und Entwicklung der Produktivität in der Landwirtschaft der Mitgliedsländer der EG und der Vereinigten Staaten von 1975–1984, In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 66, H. 3, Münster 1988 (Landwirtschaftsverlag), S. 393-415.
- HOCKMANN, H. [Quantifizierung technischer Fortschritte]: Ansätze zur Quantifizierung technischer Fortschritte in der Landwirtschaft – Eine Darstellung verschiedener auf primalen Vorgehen basierender Verfahren. In: Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft – Tendenzen, Auswirkungen, Beeinflussung. Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (Hrsg.), Bd. 26, Münster 1990 (Landwirtschaftsverlag), S. 111-117.
- HOCKMANN, H. [Technischer Fortschritt]: Einige grundsätzliche Überlegungen zum Phänomen des technischen Fortschritts. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 71, H. 2, Münster (Landwirtschaftsverlag) 1993, S. 214-236.
- HODGSON, G. M. [Economic Theory]: Evolution and Intention in Economic Theory. In: Evolutionary theories of economic and technological change. Hrsg.: SAVIOTTI, P. P.; METCALFE, J. S., Chur u.a. 1991 (Harwood Academic Publishers), S. 108-132.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- HODGSON, G. M. [non-Darwinian economics]: The evolutionary and non-Darwinian economics of Joseph Schumpeter. In: Journal of Evolutionary Economics, Jg. 7 (1997), H. 2, S. 131-145.
- HOFFARTH, A. [Indikatoren]: Die Messung des technischen Fortschritts auf der Basis von Indikatoren der totalen Faktorproduktivität. In: Technischer Fortschritt – Kritische Untersuchung von Meß- und Prognosekonzepten. Hrsg.: BOMBACH, G.; BLATTNER, N., Göttingen 1976 (Otto Schwartz & Co.), S. 177-259.
- HOGVEEN, H. U.A. [Reinigung]: Reinigung und Milchkühlung technisch anpassen. In: Melkroboter. Hrsg.: top agrar, Münster 1999 (Landwirtschaftsverlag), S. 18–22.
- HOGG, D. [Technological Change]: Technological Change in Agriculture Looking in to Genetic Uniformity, London/ New York 2000 (Macmillan/ St. Martin)
- HOLLER, M. J.; ILLING, G. [Spieltheorie]: Einführung in die Spieltheorie, Berlin u.a. 2006 (Springer).
- HÜBNER, H. [Innovations- und Technologiemanagement]: Stichwort Innovations- und Technologiemanagement. In: Gabler Wirtschaftslexikon, 15. Aufl., Wiesbaden 2000 (Gabler).
- HUISINGA, R. [Technikfolgen-Bewertung]: Technikfolgen-Bewertung: Bestandsaufnahme, Kritik, Perspektiven. Hrsg.: GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG ARBEITSORIENTIERTER FORSCHUNG, Frankfurt a. M 1985 (Serapion).
- HUNT, E. K.; SHERMAN, H. J. [Volkswirtschaftslehre]: Volkswirtschaftslehre: Einführung aus traditioneller und kritischer Sicht Bd. 1: Mikroökonomie, Frankfurt a. M./ New York 1993 (Campus).
- IHLAU, T.; RALL, L. [Messung]: Die Messung des technischen Fortschritts. In: Schriftenreihe des Instituts für angewandte Wirtschaftsforschung Tübingen, Bd. 15, Tübingen 1970 (Mohr).
- ISERMEYER, F. [Milchviehhaltung]: Perspektiven für die Milchviehhaltung. In: Landwirtschaft 2010: Welche Wege führen in die Zukunft? Hrsg.: DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT (DLG), Frankfurt a. M. 1999 (DLG-Verlag), S. 51-74.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- ISERMEYER, F. [Technikfolgenabschätzung]: Technikfolgenabschätzung einer Einführung des vollautomatischen Melkens. In: Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft – Tendenzen, Auswirkungen, Beeinflussung. Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (Hrsg.), Bd. 26, Münster 1990 (Selbstverlag), S. 145–151.
- JAKOBSON, S.; RABOLD, K. [Milking method]: A milking method and an apparatus therefor. Patent EP 0 091 892.
- JAUFMANN, D. [Technikakzeptanzforschung]: Technikakzeptanzforschung. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 1, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 205-225.
- JISCHA, M. [Technikfolgenabschätzung]: Technikfolgenabschätzung in Lehre und Forschung. In: Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Hrsg.: PETERMANN, T.; COENEN, R., Veröffentlichungen des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 6, Frankfurt a. M./ New-York 1999 (Campus Verlag), S. 165-195.
- JOKISCH, R. [Techniksoziologie]: Einleitung. In: Techniksoziologie. Hrsg.: JOKISCH, R., Frankfurt a. M. 1982 (Suhrkamp), S. VII-XIV.
- JUNGBLUTH, T. [Prozesssteuerung]: Prozesssteuerung in der Tierhaltung. In: Referate der 18. GIL-Jahrestagung in Hohenheim. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Hrsg.: DOLUSCHITZ, R.; NOELL, C., Bd. 10, Stuttgart 1997 (Selbstverlag), S. 76–79.
- KALDOR, N. [Economic Growth]: A Model of Economic Growth. In: The Economic Journal, vol. 67 (1957), Nr. 268, S. 591-624.
- KÄPPELI, O. [Nachhaltige Landwirtschaft]: Nachhaltige Landwirtschaft und grüne Gentechnik. In: TA-Datenbank-Nachrichten. Hrsg.: INSTITUT FÜR TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG UND SYSTEMANALYSE, Jg. 9 (2000), Nr. 3, S. 90-92.
- KATZ, E.; LEVIN, M. L.; HAMILTON, H. [Diffusion]: Traditions of Research on the Diffusion of Innovation. In: American sociological review, Nr. 28 (1963), S. 237-251.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- KELM, M. [Darwinian interpretation]: Schumpeter's theory of economic evolution: a Darwinian interpretation. In: Journal of Evolutionary Economics, Jg. 7 (1997), H. 2, S. 97-130.
- KENNEDY, P. [Econometrics]: A Guide to Econometrics, Oxford 1998 (Blackwell).
- KENNEDY, P. [Econometrics]: A Guide to Econometrics, Oxford 2001 (Blackwell Publishers).
- KETELLAR-DE LAUWERE, C. U.A. [livestock farming systems]: Towards socially desirable livestock farming systems in 2040. In: Bau, Technik, Umwelt. Hrsg.: INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK DER UNIVERSITÄT HOHENHEIM, Stuttgart 2001 (Selbstverlag), S. 26–31.
- KIRZNER, I. M. [Competition]: Competition and Entrepreneurship, Chicago/ London 1974 (University of Chicago Press).
- KIRZNER, I. M. [Market Theory]: Market Theory and the Price System; Toronto u.a. 1963 (D. Van Nostrand).
- KISLEV, Y.; PETERSON, W. [Induced Innovations]: Induced Innovations and Farm Mechanisation. In: American Journal of Agricultural Economics, vol. 63 (1981), Nr. 3, S. 562-565.
- KLEINHOLZ, R. [Diffusion]: Zur Diffusion von Innovationen. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 15 (1986), H. 7, S. 337-339.
- KLEVERSAAT, K. [MELKEN]: Melken wie von selbst?! In: Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen Lippe, Jg. 155 (1998), H. 24, S. 35.
- KLEY, G. [Pflanzenzucht und Pflanzenbau]: Tendenzen in Pflanzenzucht und Pflanzenbau. In: Landwirtschaft 2010. Hrsg.: DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFT-GESELLSCHAFT, Frankfurt a. M. 1999 (DLG-Verlags-GmbH), S. 39-49.
- KLINDWORTH, M. [Prozesssteuerung]: Prozesssteuerung in der Milchviehhaltung. Hrsg.: DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT, Merkblatt 312, Frankfurt a. M. 1999 (DLG-Verlags-GmbH).
- KLINDWORTH, M. U.A. [Transponder]: Leistungseigenschaften ISO-kompatibler Transponder. In: Bau, Technik, Umwelt. Hrsg.: Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Stuttgart 2001 (Selbstverlag), S. 32–37.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- KNAPPSTEIN, K. U.A. [Erprobung automatischer Melksysteme]: Erprobung automatischer Melksysteme (AMS) unter den Gesichtspunkten ökonomischer, hygienischer und ökologischer Aspekte, des Tierschutzes sowie struktureller Auswirkungen auf die Rinderhaltung. Teil II: Aspekte der Eutergesundheit und Milchhygiene. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMVEL, Bd. 80, H. 2, Münster 2002 (Landwirtschaftsverlag), S. 281-303.
- KNAPPSTEIN, K.; REICHMUTH, J. [Detection of clinical mastitis]: Detection of clinical mastitis during automatic milking using data on milk electrical conductivity and yield. In: Robotic milking. Hrsg.: HOGVEEN, H.; MEIJERING, A., Wageningen 2001 (Wageningen Pers), S. 116–117.
- KNOTTENBAUER, K. [Strukturwandel]: Theorien des sektoralen Strukturwandels. Marburg 2000 (Metropolis-Verlag).
- KOCHAN, A. [Robots]: Robots provide 24/7 milking service for cows. In: Industrial Robot, vol. 31 (2004), S. 396-400.
- KONDRATIEV, N. [Cycle]: The Long Wave Cycle, o O. 1984 (Richardson & Snyder).
- KÖNIG, W. [Technikfolgen]: Einführung des vollautomatischen Melkens – Untersuchung möglicher Technikfolgen unter besonderer Berücksichtigung von Akzeptanz und Rentabilität in verschiedenen Betriebstypen, Diplomarbeit an der Universität Göttingen, Göttingen 1989 (unveröffentlicht).
- KONING, K. DE U.A. [automatic milking]: Automatic milking experience and development in europe. In: The first North American Conference on robot milking, Toronto CAN, Wageningen 2002 (Wageningen Pers), S. I-1-I-11.
- KOPPEL, B. [Evaluating Assessment]: Evaluating Assessment: A comment and perspective. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 14 (1979), S. 147-152.
- KORNWACHS, K. [ethisches Handeln]: Technikfolgenabschätzung und das Problem des ethischen Handelns. In: Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: KORNWACHS, K., Stuttgart 1991 (Poeschel), S. 177-198.
- KORNWACHS, K. [Technikfolgenabschätzung]: Glanz und Elend der Technikfolgenabschätzung. In: Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: KORNWACHS, K., Stuttgart 1991 (Poeschel), S. 1-22.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- KOSA, J.; BETIN, S. [Apparatus]: Apparatus for putting on milking sleeves. Patent SU 9 350 21.
- KOWALEWSKY, H.-H.; FÜBBEKE, A. [Ermittlung der Melkleistung]: Ermittlung der Melkleistung, der Kosten und des Arbeitszeitbedarfes bei automatischen Melksystemen. KTBL-Arbeitsprogramm „Kalkulationsunterlagen“ 1998, Abschlussbericht, Oldenburg 1999 (Selbstverlag).
- KREMER, J. H. [Milchentzug]: Untersuchungen zum automatischen Milchentzug, Kiel 1994 (Selbstverlag).
- KROMPHARDT, J.; SCHEIDT, B. [Wachstumstheorie]: Stichwort Wachstumstheorie. In: Gabler-Wirtschafts-Lexikon, 14. Aufl., Wiesbaden 1997 (Gabler).
- KRÜCKEN, G.; WEYER, J. [Risikoforschung]: Risikoforschung. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: Bröckler, S.; Simonis, G.; Sundermann, K., Bd. 1, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 227-235.
- KRUPP, H. [Politische Erfolgchancen]: Politische Erfolgchancen für Technikfolgenabschätzung und -bewertung beim Deutschen Bundestag. In: Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: KORNWACHS, K., Stuttgart 1991 (Poeschel), S. 61-73.
- KUHLMANN, F. [Entwicklungstendenzen in der Betriebsführung]: Technische Entwicklungstendenzen in der Betriebsführung. In: Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft – Tendenzen, Auswirkungen, Beeinflussung. Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (Hrsg.), Bd. 26, Münster 1990 (Landwirtschaftsverlag), S. 41-55.
- KUHLMANN, F. [Informationstechnologie]: Nutzung der Informationstechnologie im Management. In: Elektronikeinsatz in der Landwirtschaft. Hrsg.: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAU IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V., Bd. 390, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 7–14.
- KUTSCHENREITER, W. [MARKT]: Was tut sich auf dem Markt? In: Neue Landwirtschaft, Jg. 11 (2000), H. 10, S. 58-61.
- LANGE, O. R. [Price Flexibility]: Price Flexibility and Employment, Bloomington u.a. 1952 (Principia Press).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- LANGLOIS, R. N.; EVERETT, M. J. [Evolutory Economics]: In: Evolutionary and Neo-Schumpeterian Approaches to Economics. Hrsg.: MAGNUSSON, L., Boston/ Dordrecht/ London 1994 (Kluwer Academic Publishers), S. 11–47.
- LASSMANN, G. [Produktionsfunktion]: Die Produktionsfunktion und ihre Bedeutung für die betriebswirtschaftliche Kostentheorie, Köln 1958 (Westdeutscher Verlag).
- LECHNER, W.; BAUMANN, S. [Global navigation satellite systems]: Global navigation satellite systems. In: Computers and electronics in agriculture, Bd. 25, (2000), H. 1-2, S. 67–85.
- LEE, A.; BEREANO, P. [Methodology]: Developing Technology Assessment Methodology: Some Insights and Experiences. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 19 (1981), S. 15-31.
- LEE, T. K.; WILDE, L.L. [Market Structure]: Market Structure and Innovation: A Reformulation. In: Quaterly Journal of Economics, vol. 94 (1980), Nr. 2, S. 429-436.
- LEINER, B. [Stichprobentheorie]: Stichprobentheorie – Grundlagen, Theorie und Technik, München/ Wien 1985 (Oldenbourg).
- LEONTIEF, W. W. [American Economy]: The Structure of the American Economy, 1919-1939, zitiert nach der 2. Aufl., White Plains/ New York 1951 (International Arts and Science Press).
- LEONTIEF, W. W. [Input-Output]: Input-Output Economics, New York 1966 (Oxford University Press).
- LESERER, M. [Methodik]: Zur Methodik des Vorhersagens. In: Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft – Tendenzen, Auswirkungen, Beeinflussung. Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (Hrsg.), Bd. 17, Münster 1980 (Landwirtschaftsverlag), S. 141-158.
- LINDE, R.; ALTENBURG, L. [Monopol]: Monopol und Innovation. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 22 (1993), H. 1, S. 68-74.
- LIPPI, M. [On the dynamics of aggregate macroequations]: On the dynamics of aggregate macroequations: from simple microbehaviours to complex macrorelationships. In: Technical change and economic theory. Hrsg.: DOSI, G. U.A., London 1988 (Pinter Publishers), S. 170-196.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- LITTLE, R. B. [Bovine mastitis]: Bovine mastitis: a symposium. New York 1946 (McGraw-Hill).
- LOOMIS, R. A. [Differential Rates]: Differential rates of change in output per unit of input. In: Journal of Farm Economics, Bd. 39 (1957), H. 5, S. 1551-1561.
- LOURY, G. C. [Market Structure]: Market Structure and Innovation. In: The Quarterly Journal of Economics, vol. 93, Nr. 3, 1979, S. 395-410.
- LOWENBERG-DEBOER, J. [New Information Technology]: Precision Farming and the New Information Technology. Implications for Farm Management, Policy and Research: Discussion. In: American Journal of Agriculture Economics, vol. 78 (1996), Nr. 5, S. 1281–1284.
- LUCAS, R. E. JR. [Economic Development]: On the Mechanics of Economic Development. In: Journal of Monetary Economics, vol. 22 (1988), S. 3–42.
- LÜCKEMEYER, M.; PETERS, W. [Bewertung technischer Fortschritte]: Bewertung technischer Fortschritte im Agrarbereich und Möglichkeiten der politischen und gesellschaftlichen Steuerung. In: Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft - Tendenzen, Auswirkungen, Beeinflussung. Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (Hrsg.), Bd. 26, Münster 1990 (Landwirtschaftsverlag), S. 325-334.
- LUDWIG, B. [Methoden]: Methoden und Modellbildung in der Technikbewertung, Clausthal-Zellerfeld 1995 (Papierflieger).
- LUNDVALL, B.-A. [Innovation]: Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national systems of innovation. In: Technical change and economic theory. Hrsg.: DOSI, G. u.a., London 1988 (Pinter Publishers), S. 349-369.
- MACHADO, F. S. [Induced Innovation Hypothesis]: Testing the Induced Innovation Hypothesis using cointegration analysis. In: American Journal of Agricultural Economics, vol. 84 (2002), Nr. 3, S. 349-360.
- MAGNUSSON, L. [Economics]: The Neo-Schumpeterian and Evolutionary Approach to Economics – An Introduction. In: Evolutionary and Neo-Schumpeterian Approaches to Economics. Hrsg.: MAGNUSSON, L., Boston u.a. 1994 (Kluwer Academic Publishers), S. 1-8.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- MAGNUSSON, L.; OTTOSSON, J. [Introduction]: Introduction. In: Evolutionary Economics and Path Dependence. Hrsg.: MAGNUSSON, L.; OTTOSSON, J., Cheltenham/ Brookfield 1997 (Edgar Elgar Publishing), S. 1–9.
- MAI, M. [Politik]: Umsetzung der Technikfolgen-Abschätzung in der Politik. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 1, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 343-350.
- MANI, G. [Biological Evolution]: Is There a General Theory of Biological Evolution? In: Evolutionary theories of economic and technological change. Hrsg.: SAVIOTTI, P. P.; METCALFE, J. S., Chur u.a. 1991 (Harwood Academic Publishers), S. 31-57.
- Mankiw, N. G. [Volkswirtschaftslehre]: Grundzüge der Volkswirtschaftslehre, Stuttgart 1999 (Schäffer-Poeschel).
- MANSFIELD, E. [Technological Chance]: Technological Chance, New York 1971 (W. W. Norton & Company).
- MARK, J. A. [Productivity]: Productivity Measurement. In: Productivity Prospects for Growth. Hrsg.: ROSOW, J. M., New York u.a. 1981 (Van Norstrand Reinhold), S. 54-75.
- MARSHALL, A. [Principles]: Principles of Economics, Bd. 1, zitiert nach der 9. Aufl. Hrsg.: GUILLEBAUD, C. W., CAMBRIDGE U.A. 1961 (Cambridge University Press).
- MATSCHKE, X. [Stackelberg-Dyopol]: Das Stackelberg-Dyopol. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 21 (1992), H. 1, S. 114–120.
- MAYNTZ, R.; HOLM, K.; HÜBNER, P. [Einführung]: Einführung in die Methoden der empirischen Soziologie, Opladen 1974 (Westdeutscher Verlag).
- MCKENZIE, R. B.; TULLOCK, G. [Homo oeconomicus]: Homo oeconomicus, Frankfurt a. M./ New York 1984 (Campus).
- MEIER, B. [Galbraith]: John Kenneth Galbraith und seine Wegbereiter. Von Veblen zu Galbraith, Zürich 1989 (Rügger).
- MEIJERING, A. [Preface]: Preface. In: Robotic milking. Hrsg.: HOGVEEN, H.; MEIJERING, A., Wageningen 2001 (Wageningen Pers), S. 7.
- MEIBNER, W. [Innovation]: Innovation und Organisation, die Initiierung von Innovationsprozessen in Organisationen. In: Beiträge zur Organisationspsychologie.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Hrsg.: SCHULER, H.; STEHLE, W., Stuttgart 1989 (Verlag für Angewandte Psychologie).
- METCALFE, J. S. [Knowledge of growth]: Knowledge of growth and the growth of knowledge. In: Journal of Evolutionary Economics, Jg. 12 (2002), H. 1-2, S. 3-15.
- MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung im Bereich der Landwirtschaft]: Technikfolgen-Abschätzung im Bereich der Landwirtschaft. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 76, Münster 1998 (Landwirtschaftsverlag), S. 489-519.
- MEYER, R. [Technikfolgen-Abschätzung]: Technikfolgen-Abschätzung in der Landwirtschaft. In: Arbeitspapiere der Gesellschaft für Technik-Folgeabschätzung (Hrsg.), o. Jg. o. Bd., H. 11, Halle 1995 (Selbstverlag).
- MEYER-ABICH, K. [Akzeptabilität]: Akzeptabilität von Techniken. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 1, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 309-317.
- MICHALEK, J. [Technological Progress]: Technological Progress in West German Agriculture – A Quantitative Approach, Kiel 1988 (Wissenschaftsverlag Vauk).
- MIDDEL, R. G.; OENEM, R. [Automatic apply]: An automatic apply for teat cups. Patent WO 85 02973.
- MilchVO: Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis (Milchverordnung) vom 20. Juli 2000, BGBl. I, S. 1178.
- MINDERMAN, J. S. U.A. [Cooling systems]: Cooling systems with automatic milking, water- und energy use. In: Robotic milking. Hrsg.: HOGVEEN, H.; MEIJERING, A., Wageningen 2001 (Wageningen Pers), S. 64.
- MISHRA, S.; DESHMUKH, S.; VRAT, P. [Technological Forecasting]: Matching of technological forecasting. Technique to a technology. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 69 (2002), S. 1-27.
- MOHR, H.-W. [Verbreitung von Technologien]: Bestimmungsgründe für die Verbreitung von neuen Technologien, Berlin 1977 (Duncker & Humblot).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- MONTALESCOT, J.-B.; CAMUS, G.; LUCAS, J. [traite automatique]: Installation de traite Automatique. Patentanmeldung FR 2 595 197.
- MORAWITZ, C. [Einsatz von rbST]: Die Lebenswelt von Landwirten vor dem Hintergrund des möglichen Einsatzes von rekombinanten Wachstumshormonen rbST und rpST in der eigenen Tierhaltung. Frankfurt a. M. 1999 (Peter Lang).
- MOSCHINI, G.; HENNESSY, D. [Uncertainty]: Uncertainty, riskaversion and risk management for agricultural producers. In: Handbook of agricultural economics vol. 1. Hrsg.: GARDER, B.; RAUSSER, G, Amsterdam 2001 (Elsevier), S. 87-153.
- MÜLLER, D. [Innovation]: Innovation und Marktstruktur: Eine vergleichende Analyse theoretischer Modelle, Köln 1988 (Müller Botermann).
- MÜLLER, G. [Betriebsstruktur]: Zur Anwendung der Markoffketten in der Analyse und Prognose der Betriebsstruktur in der Landwirtschaft. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 45, H. 1-2, Hamburg/ Berlin 1967 (Paul Parey), S. 223-243.
- MUNCH-PETERSEN, E. [Bovine Mastitis]: Bovine Mastitis. Survey of the literature to 1935, Weybridge 1938 (Imperial Bureau of Animal Health).
- MUNDLAK, Y. [Economic Growth]: Agriculture and Economic Growth, Cambridge (Mass.)/ London 2000 (Havard University Press).
- MURMANN, C. [Nächste Molkerei-Ehe]: Nächste Molkerei-Ehe fest vereinbart. In: Lebensmittel Zeitung, Jg. 41 (1999), H. 23, S. 20.
- NASH, J. F. [Non-Cooperative Games]: Non-Cooperative games. In: Annals of Mathematics, vol. 54 (1951), Nr. 2, S. 286-295.
- NASH, J. F. [Two-Person Cooperative-Games]: Two-Person Cooperative-Games. In: Econometrica, vol. 21 (1953), Nr. 1, S. 128-140.
- NATIONAL MASTITIS COUNCIL [Proceedings]: Annual Meeting Proceedings of the National Mastitis Council. Hrsg.: NATIONAL MASTITIS COUNCIL, versch. Jg., Arlington (Selbstverlag).
- NEHNEVAJSA, J.; MENKES, J. [Risk Analysis]: Technology Assessment and Risk Analysis. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 19 (1981), S. 245-255.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- NELSON, R.; WINTER, S. [Evolutionary theory]: An Evolutionary theory of economic change, Cambridge/ Mass. 1982 (Belknap Press of Harvard University Press).
- NEUHAUS, U. [Weisse Quellen]: Des Lebens Weisse Quellen – Das Buch von der Milch. Berlin 1954 (Dietrich Reimer).
- NEUMANN, B. [Technikchancenabschätzung]: Technikfolgenabschätzung als Beitrag für eine „Technikchancenabschätzung“. In: Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Hrsg.: PETERMANN, T.; COENEN, R., Veröffentlichungen des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 6, Frankfurt a. M./ New-York 1999 (Campus Verlag), S. 29-33.
- NEUMANN, J. V.; MORGENSTERN, O. [Theory of Games]: Theory of Games and economic behavior, Princeton 1944 (Princeton University Press).
- NOELL, C.; HANF, C.-H. [Simulationsmodell]: Ein Simulationsmodell zur Prognose des Adoptionsprozesses von Innovationen in der Landwirtschaft. In: Referate der 14. GIL-Jahrestagung in Leipzig. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Hrsg.: SCHULZE, E.; PETERSEN, B.; GEIDEL, H., Bd. 5, Bonn/ Stuttgart 1993 (Selbstverlag), S. 226-231.
- NORTH CENTRAL RURAL SOCIOLOGY SUBCOMMITTEE FOR THE STUDY OF DIFFUSION OF FARM PRACTICES [Farm people]: How Farm people Accept New Ideas. North Central Regional Publication Nr. 1. Hrsg.: IOWA AGRICULTURAL EXTENSION SERVICE, Special Report Nr. 15, Ames 1955 (Selbstverlag).
- NOSAL, D.; SCHICK, M.: [Neue Melksysteme]: Neue Melksysteme. In: FAT-Berichte. Hrsg.: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Nr. 475, Tänikon 1995 (Selbstverlag), S. 1.
- NOTSUKI, I; UENO, K.: [System]: System for managing milking cows in stanchion stool. Patent US 4 010 714.
- NUBER, B. [Simulationsstudien]: Simulationsstudien zum automatischen Melken, Stuttgart 1989 (Selbstverlag).
- o. V. [1.000 Astronaut A3]: Lely kündigt den Verkauf des 1.000. Astronaut A3 Melkroboters in weniger als einem Jahr an. Pressemitteilung der Lely Deutschland M.R.S. GmbH, Neuenkirchen, Dezember 2006.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- o. V. [Alfa-Laval]: Melkroboter von Alfa-Laval. In: top agrar, Jg. 27 (1998), H. 10, S. R2.
- o. V. [Campina]: Campina: Von der AG zur GmbH. In: Die Molkerei-Zeitung Welt der Milch, Jg. 54 (2000), H. 1, S. 4.
- o. V. [Fusion Hochwald/ Eifelperle]: Fusion Hochwald/ Eifelperle mit großer Mehrheit beschlossen. In: Die Molkerei-Zeitung Welt der Milch, Jg. 55 (2001), H. 1, S. 11-12.
- o. V. [Geschäftsbericht 1999 Hochwald Nahrungsmittel-Werke GmbH]: Geschäftsbericht 1999 der Hochwald Nahrungsmittel-Werke GmbH, Thalfang 2000 (Selbstverlag).
- o. V. [Melkroboter-Boom]: Melkroboter-Boom in Bayern. In: top agrar, Jg. 36 (2007), H. 12, S. R4.
- o. V. [Presseinformation]: Presseinformation Mai 2006. Pressemitteilung der Lely Deutschland M.R.S. GmbH, Neuenkirchen, Mai 2006.
- o. V. [AMS]: WestfaliaSurge: Clear statement for the future of AMS. Pressemitteilung der WestfaliaSurge GmbH, Oelde, 17. März 2004.
- o. V. [Astronaut Melkrobotersysteme]: Astronaut Melkrobotersysteme: Lely's Verkäufe sind in die Höhe geschneilt! Pressemitteilung der Lely Industries N.V., Maassluis, Mai 2006.
- o. V. [Astronaut]: In Tuningen melkt ein Astronaut. In: Landwirtschaftliches Wochenblatt Baden-Württemberg, Jg. 164 (1997), H. 3, S. 22–23.
- o. V. [Hersteller]: Hersteller bleiben am Ball. In: Landwirtschaftliches Wochenblatt Baden-Württemberg, Jg. 170 (2003), H. 9, S. 18–20.
- o. V. [Limited Edition]: Lely Astronaut Milking Robot – Special Limited Edition. Pressemitteilung der Lely Industries N.V., Maassluis, September 2002.
- o. V. [Melkroboter - Zukunft]: Melkroboter – Zukunft für Familienbetrieb? In: Landentwicklung aktuell, Jg. 4 (1998), H. 1, S. 13–14.
- o. V. [Melkverfahren]: Geschichte der automatischen Melkverfahren. In: Agrarfinanz, Jg. 48 (2000), Sonderheft Tierhaltung, S. 11.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- o. V. [Mit dem Melkroboter]: Mit dem Melkroboter ins nächste Jahrtausend. In: Landentwicklung aktuell. Jg. (1997), H. 2, S. 18–19.
- o. V. [New Astronaut]: Lely introduces a completely new Astronaut robot milking system heralding an new era in robot milking. Pressemitteilung der Lely Industries N.V., Maassluis, 23. November 2005.
- o. V. [Nieuwe Melkrobot]: Prolion lanciert nieuwe melkrobot. Pressemitteilung der Prolion Holding N.V., Vijfhuizen, 06. September 2005.
- o. V. [Produktinformation Astronaut]: Produktinformation Melkroboter Astronaut. Lely Deutschland M.R.S. GmbH, Wolfenbüttel, März 2003.
- o. V. [Produktinformation Galaxy]: Galaxy Melkroboter. Produktinformation der Insentec B.V., Marknesse 2005.
- o. V. [Punch Technix]: Punch Technix is a fact. Pressemitteilung der Punch Technix N.V., Eede, 14. November 2005.
- o. V. [RMS]: RMS Newsletter. Hrsg.: RMS International B.V., o. Jg., Nr. 4, Vijfhuizen 2005.
- o. V. [robot milking]: Lely celebrates 10th Anniversary of robot milking. In: Milk and robot update, Bd. 3 (2002), H. 3, S. 1.
- o. V. [SAC]: SAC purchases company in Holland. Pressemitteilung der A/S S. A. Christensen & Co., Kolding, 05. September 2005.
- o. V. [Sales]: Manus Holland ends sales and service of milkingsystem Miros. Pressemitteilung der Manus Holland B.V., Steenwijk, 13. Dezember 2001.
- o. V. [technischer Fortschritt]: Stichwort Technischer Fortschritt. In: Gabler Wirtschaftslexikon, 15. Aufl., Wiesbaden 2000 (Gabler).
- o. V. [Versuchsbetrieb]: Neuer Versuchsbetrieb melkt 150 Kühe am Roboter. In: top agrar, Jg. 28 (1999), H. 8, S. R3.
- o. V. [Weltpremiere]: Der Melkroboter zieht nach draußen - Eine Weltpremiere: Roboter melken der Kühe direkt auf der Wiese. Pressemitteilung der Universität Aarhus, Aarhus, 20. August 2007.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- o. V. [weltweite Melkroboter-Lizenz]: WestfaliaSurge GmbH übernimmt weltweite Melkroboter-Lizenz. Pressemitteilung der WestfaliaSurge GmbH, Bönen, 31. August 2007.
- o. V. [Zukunft]: Die Zukunft des automatischen Melkens. Stand heute. Hrsg.: WESTFALIASURGE GMBH, Oelde 2002 (Selbstverlag).
- OECD [Frascati Manual 1993]: Frascati Manual 1993: The measurement of scientific and technical activities: proposed standard practice for surveys of research and experimental development. Hrsg.: OECD, Paris 1993 (Selbstverlag).
- OECD [Produktivitätsmessung]: Produktivitätsmessung: Ein internationaler Vergleich. Hrsg.: Rationalisierungskuratorium der deutschen Wirtschaft (RKW), Frankfurt a. M. 1971 (Selbstverlag).
- ORDOLFF, D. [Bewertung von Vorgemelken]: Einsatz von Farmmessungen zur Bewertung von Vorgemelken. In: Automatische Melksysteme. Hrsg.: SCHÖN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 395, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 218–223.
- ORDOLFF, D. [Grundlagen]: Voraussetzungen und Grundlagen automatischer Milchgewinnung. Hrsg.: MAX-EYTH-GESELLSCHAFT (MEG), Forschungsbericht Nr. 191, Frankfurt u.a. 1991 (Selbstverlag).
- ORDOLFF, D. [Melkstände]: Melkstände – ein Verfahrensvergleich. Hrsg.: AUSWERTUNGS- UND INFORMATIONSDIENST FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (AID) E. V., Bonn 1997 (Selbstverlag).
- ORDOLFF, D. [Melkzeuge]: Melkzeuge automatisch ansetzen – demnächst Wirklichkeit. In: Landtechnik, Jg. 35 (1980), H. 5, S. 222-224.
- ORDOLFF, D. [Qualitätsmanagement]: Milchkühlung und Qualitätsmanagement. In: Automatische Melksysteme. Hrsg.: SCHÖN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 395, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 81-87.
- OTT, A. [Technischer Fortschritt]: Technischer Fortschritt. In: Handwörterbuch der Sozialwissenschaften. Hrsg.: Beckerath, E. v. u.a., Bd. 10, Tübingen 1959 (Mohr), S. 302-316.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- PAHLKE, M. [Astronaut]: Ein Astronaut im Laufstall. In: dlz agrarmagazin, Jg. 46 (1995), H. 11, S. 108-113.
- PARAU, D. [Milchentzug]: Studien zur Kulturgeschichte des Milchentzugs. Kempten 1975 (Volkswirtschaftlicher Verlag).
- PASCHEN, H. [Deutschland]: Technikfolgenabschätzung in Deutschland – Aufgaben und Herausforderungen. In: Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Hrsg.: PETERMANN, T.; COENEN, R., Veröffentlichungen des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 6, Frankfurt a. M./ New-York 1999 (Campus Verlag), S. 77-93.
- PASCHEN, H.; GRESSER, K.; CONRAD, F. [Technology Assessment]: Technology Assessment - Technologiefolgenabschätzung, Frankfurt a. M./ New-York 1978 (Campus Verlag).
- PASCHEN, H.; PETERMANN, T. [Technikforschung und Politikberatung]: Technikfolgen-Abschätzung - Ein strategisches Rahmenkonzept für die Analyse und Bewertung von Techniken. In: Technikfolgen-Abschätzung und Politikberatung. Hrsg.: PETERMANN, T., Schriftenreihe der Abteilung für angewandte Systemanalyse (AFAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 1, Frankfurt a. M/ New-York 1991 (Campus Verlag), S. 19-41.
- PASINETTI, L. L. [Economic Growth]: Rate of Profit and Income Distribution in Relation of the Rate of Economic Growth [Erstveröffentlichung: Review of Economic Studies, XXIX (4), Oktober, 267-279]. In: Post Keynesian Theory of Growth and Distribution. Hrsg.: PANICO, C.; SALVATORI, N., Cambridge 1993 (Edward Elgar Publishing), S. 35-47.
- PEISSEL, W. [Europa]: Parlamentarische Technikfolgenabschätzung in Europa. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 2, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 469-477.
- PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung und Diffusionsforschung]: Technikfolgen-Abschätzung und Diffusionsforschung - ein Diskussionsbeitrag. Hrsg.: BÜRO FÜR TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG, TAB-Diskussionspapier Nr. 8, Berlin 2000 (Selbstverlag).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- PETERMANN, T. [Technikfolgen-Abschätzung]: Technikfolgen-Abschätzung als prospektive Technikanalyse. Hrsg.: GESELLSCHAFT FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG (GFT), o. Jg. o. Bd., H. 4, Köln 1992 (Selbstverlag).
- PETERMANN, T.; THIENEN, V. V. [Technikakzeptanz]: Technikakzeptanz: Zum Karriereverlauf eines Begriffes. In: Technikfolgenabschätzung als politische Aufgabe. Hrsg.: WESTPHALEN, R. GRAF V., München/ Wien 1988 (R. Oldenbourg), S. 211-254.
- PETERMANN, T.: [Technikfolgenabschätzung als Politikberatung]: Technikfolgenabschätzung als Politikberatung. In: Technikfolgenabschätzung in Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Hrsg.: PETERMANN, T.; COENEN, R., Veröffentlichungen des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Bd. 6, Frankfurt a. M./ New-York 1999 (Campus Verlag), S. 147-164.
- PETRIE, C. J. [Agent-based Engineering]: Agent-based Engineering, the Web and Intelligence. In: IEEE Expert, vol. 11 (1996), Nr. 6, S. 24-29.
- PFÄHLER, W.; WIESE, H. [Innovationswettbewerb]: Innovationswettbewerb. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 23 (1994), H. 12, S. 1031-1038.
- PFEIFFER, W.; STAUDT, E. [Innovation]: Innovation. In: HWB. Hrsg.: GROCHLA, V. E.; WITTMANN, W., 4. Aufl., Stuttgart 1975 (Poeschel), Sp. 1943–1953.
- PHILLIPS, A. [Technology]: Technology and Market Structure: A study of the aircraft industry, Lexington / Mass. 1971 (Lexington Books).
- PHILLIPS, C. B.; PLOBERGER, W. [Bayesian Inference]: An Asymptotic Theory of Bayesian Inference for Time Series. In: Econometrica, vol. 64 (1996), Nr. 2, S. 381-411.
- PIRKELMANN, H. U.A. [elektronische Tierkennzeichnung]: Die elektronische Tierkennzeichnung im Großversuch – Aktueller Stand des EU-Projektes IDEA in Deutschland. In: Elektronikeinsatz in der Landwirtschaft. Hrsg.: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAU IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V., Bd. 390, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 34-40.
- PLANCK, U.; ZICHE, J. [Agrarsoziologie]: Land- und Agrarsoziologie, Stuttgart 1979 (Eugen Ulmer).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- PLATE, R., BÖCKENHOFF, E. [Agrarmarktpolitik]: Grundlagen der Agrarmarktpolitik, München 1984 (BLV Verlagsgesellschaft).
- PORTER, A. [Forecasting]: Tech Forecasting: An empirical perspective. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 62 (1999), S. 19-28.
- PORTER, M. E. [Wettbewerbsvorteile]: Wettbewerbsvorteile, Frankfurt a. M. 1999 (Campus-Verlag).
- PROSI, G. [Technischer Fortschritt]: Technischer Fortschritt als mikroökonomisches Problem. In: Berner Beiträge zur Nationalökonomie. Hrsg.: BIERI, H. G. U.A., Bd. 4, Bern/ Stuttgart 1966 (Haupt).
- RABOLD, K. [Milchgewinnung]: Biotechnik der Milchgewinnung. Stuttgart 1974 (Eugen Ulmer).
- RATSCHOW, J.-P. [Auswirkungen]: Auswirkungen rechtlicher Rahmenbedingungen auf die Tierhaltung. In: Bauen für die Landwirtschaft - Stallbau, Jg. 37 (2000), H. 1, S. 5–8.
- REESE, J.; URBAN, K.-P. [Produktionsplanung]: Produktionsplanung mit Hilfe von lokalen Suchverfahren. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 28 (1999), H. 3, S. 318-324.
- REETZ, N. [Konjunktur]: Konjunktur und Wachstum, St. Gallen 1985 (Wilhelm Surbir).
- REICHERT, L. [Evolution]: Evolution und Innovation, Berlin 1994 [Duncker & Humblot).
- REINEMANN, D. J. [Automatic milking in the USA]: Evolution of automatic milking in the USA. In: The first North American Conference on robot milking, Toronto CAN, Wageningen 2002 (Wageningen Pers), S. I-15-I-19.
- REISCH, E.; ZEDIES, J. [landwirtschaftliche Betriebslehre]: Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre, Band 2: Spezieller Teil, Stuttgart 1992 (Eugen Ulmer).
- RENN, O. [Methodische Vorgehensweisen]: Methodische Vorgehensweisen in der Technikfolgenabschätzung. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 2, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 609-615.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- RESCHER, N. [Technological Forecasting]: Methodological Issues in Science and Technology Forecasting: Uses and Limitations in Policy Deliberations. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 20 (1981), S. 101-112.
- RIZZELLO, S. [Microfoundations]: The Microfoundations of Path Dependency. In: Evolutionary Economics and Path Dependence. Hrsg.: MAGNUSSON, L.; OTTOSSON, J., Cheltenham/ Brookfield 1997 (Edgar Elgar Publishing), S. 98–118.
- ROGERS, E. M. [Categorizing]: Categorizing the Adopters of Agricultural Practices. In: Rural sociology, vol. 23 (1958), Nr. 4, S. 345-354.
- ROGERS, E. M. [Diffusion]: Diffusion of Innovations, New York u.a. 1995 (The Free Press).
- ROGERS, E. M.; SHOEMAKER, F. F. [Communication]: Communication of Innovations, New York/ London 1971 (The Free Press).
- ROMER, P. M. [Long-Run Growth]: Increasing Returns and Long-Run Growth. In: The Journal of Political Economy, vol. 94 (1986), Nr. 5, S. 1002–1037.
- ROMER, P. M. [Technological Change]: Endogenous Technological Change. In: The Journal of Political Economy, vol. 98 (1990), Nr. 5, part 2, S. 71–102.
- ROPOHL, G. [Ethik und Technikbewertung]: Ethik und Technikbewertung. Frankfurt a. M. 1996 (Suhrkamp).
- ROPOHL, G. [Innovative Technikbewertung]: Innovative Technikbewertung. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 1, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 83-93.
- ROPOHL, G. [Systemtheorie]: Eine Systemtheorie der Technik: Zur Grundlegung der allgemeinen Technologie, München 1979 (Hanser).
- ROPOHL, G.; LENK, H.; RAPP, F. [Wertgrundlagen]: Wertgrundlagen der Technikbewertung. In: Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: WESTPHALEN, R. GRAF V., München/ Wien 1988 (R. Oldenbourg), S. 47-73.
- ROSENBERG, N. [Exploring]: Exploring the black box; Cambridge u.a. 1994 (Cambridge University Press).
- ROSENBERG, N. [Inducement Mechanisms]: The Direction of Technological Change: Inducement Mechanisms and Focusing Devices. In: Economic Development and Cultural Change, vol. 18 (1969), Nr. 1, part I, S. 1-24.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- ROSENBERG, N. [Inside]: Inside the black box: technology and economics, Cambridge/ New York/ Melbourne 1982 (Cambridge University Press).
- ROSENBERG, N.; FRISCHTAK, C. R. [Long Waves]: Technological Innovation and Long Waves [Erstveröffentlichung Cambridge Journal of Economics, vol. 8 (1/1984), S. 7-24]. In: Joseph A. Schumpeter Critical Assessments, vol. IV. Hrsg.: CUNNINGHAM WOOD, J., London/ New York 1991 (Routledge), S. 223-245.
- ROSSING, W. U.A. [Robot milking]: Robot milking: State of the art. In: Dairy systems for the 21st Century Proceedings of the Third International Dairy Housing Conference. Hrsg.: BUCKLIN, R., American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph 1994 (Selbstverlag), S. 92-101.
- ROSSING, W.; HOGWERF, P. H. [automatic milking systems]: State of the art of automatic milking systems. In: Computers and electronics in agriculture, Bd. 17 (1997), H. 1, S. 1-17.
- ROSSING, W.; IPEMA, A. H. [Melkroboter]: Die Melkroboter kommen – in zwei Jahren praxisreif? In: top agrar, Jg. 17 (1988), H. 4, S. R8-R11.
- RUNGE C. F. [Induced Agricultural Innovation]: Induced Agricultural Innovation and Environmental Quality: The Case of Groundwater Regulation. In: Land Economics, Vol. 63 (1987); Nr. 3, S. 249-258.
- RUTTAN, V. W. [Induced Innovation]: Induced Innovation and Path Dependence: A Reassessment with Respect to Agricultural Development and the Environment. In: Technological Forecasting and Social Change, Bd. 53 (1996), H. 1, S. 41-59.
- RYAN, B. ; GROSS, N. C. [Hybrid Seed Corn]: The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities, In: Rural Sociology, vol. 8 (1943), Nr. 1, Ithaka, S. 15-24.
- SAVIOTTI, P. P. [Technological Evolution]: Technological Evolution, Variety and the Economy; Cheltenham/ Brookfield 1996 (Edgar Elgar Publishing).
- SAVIOTTI, P. P. [Variety]: The role of variety in economic and technological Development. In: Evolutionary theories of economic and technological change. Hrsg.: Saviotti, P. P.; Metcalfe, J. S., Chur u.a. 1991 (Harwood Academic Publishers), S. 172-208.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- SAVIOTTI, P. P.; METCLAFE, J. S. [Evolutory Economics]: Present Development and Trends in Evolutory Economics. In: Evolutionary theories of economic and technological change. Hrsg.: Saviotti, P. P.; Metcalfe, J. S., Chur u.a. 1991 (Harwood Academic Publishers), S. 1-30.
- SCHADE, D. [Technikfolgenabschätzung]: Technikfolgenabschätzung zwischen Wissenschaft und Politik: ein konstruktives Dilemma. In: Jahrbuch 1996/97 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg (Hrsg.), Stuttgart 1988 (Selbstverlag), S. 98-111.
- SHELL, T. V.; MOHR, H. [Biotechnologie – Gentechnik]: Biotechnologie - Gentechnik. Eine Chance für neue Industrien. In: Schriftenreihe der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg. Hrsg.: SHELL, T. V.; MOHR, H., Berlin u.a. 1995 (Springer).
- SCHEWE, G. [Imitationsmanagement]: Imitationsmanagement: Nachahmung als Teil des Technologiemanagements, Stuttgart 1992 (Schäffer-Poeschel).
- SCHICK, M.; HARTMANN, W. [Arbeitszeitbedarfswerte]: Arbeitszeitbedarfswerte in der Milchviehhaltung. In: Landtechnik, Jg. 60 (2005), H. 4, S. 226-227.
- SCHIPS, B. [Ökonometrie]: Stichwort Ökonometrie. In: Gabler Wirtschaftslexikon, 16. Aufl., Wiesbaden 2004 (Gabler).
- SCHLEITZER, G. [Einsatzmöglichkeit]: Der Melkroboter: II Einsatzmöglichkeiten in großen Herden. In: Neue Landwirtschaft, Jg. 8 (1997), H. 9, S. 64-68.
- SCHLEITZER, G. [Funktionsweise]: Der Melkroboter: I Funktionsweise und Praxisreife. In: Neue Landwirtschaft, Jg. 8 (1997), H. 8, S. 68-73.
- SCHLEITZER, G. [Melkroboter]: Vom „Gundorfer Kreisel“ zum Melkroboter. In: Neue Landwirtschaft, Jg. 9 (1998), H. 1, S. 58-61.
- SCHMOOKLER, J. [Invention]: Invention and Economic Growth, Cambridge (Mass.) 1966 (Harvard University Press).
- SCHNELL, R.; HILL, B.; ESSER, E. [Methoden]: Methoden der empirischen Sozialforschung, München/ Wien 1999 (Oldenbourg).
- SCHOMACKER, H. [persönliche Mitteilungen]: Persönliche Mitteilungen der NORDMILCH eG, Bremen 1999 u. 2000.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- SCHÖN, H. [Entwicklungstendenzen]: Technische Entwicklungstendenzen in der Agrarproduktion. In: Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft – Tendenzen, Auswirkungen, Beeinflussung. Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (Hrsg.), Bd. 26, Münster 1990 (Landwirtschaftsverlag), S. 23-39.
- SCHÖN, H. [Rechnergestützte Produktion]: Systeme der rechnergestützten Produktion in der Landwirtschaft. In: Elektronik und Computer in der Landwirtschaft. Hrsg.: SCHÖN, H., Stuttgart 1993 (Eugen Ulmer), S. 13–24.
- SCHÖN, H. U.A. [Precision Livestock farming]: Precision Livestock Farming. In: Bau, Technik, Umwelt. Hrsg.: INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK DER UNIVERSITÄT HOHENHEIM, Stuttgart 2001 (Selbstverlag), S. 1–9.
- SCHÖN, H.; ARTMANN, R. [Systeme]: Tierartenübergreifende Systeme. In: Elektronik und Computer in der Landwirtschaft. Hrsg.: SCHÖN, H., Stuttgart 1993 (Eugen Ulmer), S. 153–164.
- SCHÖN, H.; ARTMANN, R.; SCHLÜNSEN, D. [Produktionssteuerung in der Milchviehhaltung]: Rechnergestützte Produktionssteuerung in der Milchviehhaltung. In: Elektronik und Computer in der Landwirtschaft. Hrsg.: SCHÖN, H., Stuttgart 1993 (Eugen Ulmer), S. 165–220.
- SCHÖN, H.; AUERNHAMMER, H. [Prozesssteuerung und Automatisierung]: Neue Techniken der Prozesssteuerung und Automatisierung im Pflanzenbau und in der Tierhaltung. In: Agrarwirtschaft. Hrsg.: GESELLSCHAFT FÜR WIRTSCHAFTS- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN DES LANDBAUES E.V., Jg. 48 (1999), H. 3/4, S. 130–140.
- SCHÖN, H.; WENDEL, G.; PIRKELMANN, H. [Automatisches Melken]: Automatisches Melken – Bedeutung, Stand, Entwicklungstendenzen. In: Automatische Melksysteme. Hrsg.: SCHÖN, H. Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 395, Darmstadt 2000, (Selbstverlag), S. 9-17.
- SCHÖN, H.; WENDEL, G.; PIRKELMANN, H. [Technik]: Technik, Arbeitsorganisation und Management bei automatischen Melksystemen. In: Automatisches Melken (AMS). Hrsg.: SCHÖN, H.; PIRKELMANN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 248, Darmstadt 1997 (KTBL), S. 11–18.
- SCHÖNECKER, H. [Bedienungsakzeptanz]: Bedienungsakzeptanz und technische Innovationen. Akzeptanzrelevante Aspekte bei der Einführung neuer Büro-techniksysteme, München 1980 (Minerva).
- SCHUELLER, J. K. [Technology]: Technology for Precision Farming. In: Precision Agriculture `97, Bd. 1. Hrsg.: STAFFORD, J. V., Oxford 1998, 2. Aufl. (BIOS), S. 33–44.
- SCHUILING, H. J. U.A. [Optimal cleaning]: Optimal cleaning of equipment for automatic milking. H. D16, EU-Projekt „Implications of the introduction of automatic milking on dairy farms“, Lelystad 2002 (Selbstverlag).
- SCHUMANN, J.; MEYER, U.; STRÖBELE, W. [Grundzüge]: Grundzüge der Mikroökonomischen Theorie, Berlin u.a. 1999 (Springer).
- SCHUMPETER, J. A. [History]: History of Economic Analysis, New York 1954 (Oxford University Press).
- SCHUMPETER, J. A. [Kapitalismus]: Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie; zitiert nach der 2. Aufl. von 1950, München 1955 (Leo Lehnen Verlag).
- SCHUMPETER, J. A. [Konjunkturzyklen]: Konjunkturzyklen. Übersetzung und Nachdruck der 1. Aufl. von 1939, Bd. 1, Göttingen 1961 (Vandenhoeck & Ruprecht).
- SCHUMPETER, J. A. [Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung]: Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Eine Untersuchung über Unternehmensgewinn, Kapital, Kredit Zins und den Konjunkturzyklus; Wien 1911, zitiert nach der 7. Aufl. als Nachdruck der 4. Aufl. von 1934, Berlin 1964 (Duncker & Humblot).
- SCHUSTER, H. [Das digitale Universum]: Das digitale Universum: Zelluläre Automaten als Modelle der Natur, Braunschweig 1995 (Viehweg).
- SEEL, B. [Ökonomik]: Ökonomik des privaten Haushalts. Stuttgart 1991 (Eugen Ulmer).
- SEILER, A. W. [Harrod-Domar-Modell]: Ein erweitertes Harrod-Domar-Modell für die makroökonomische Programmierung in Entwicklungsländern. In: Beiträge zur Südasienforschung, Bd. 15. Hrsg.: SÜDASIEN-INSTITUT HEIDELBERG, Wiesbaden 1975 (Franz Steiner).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- SELTEN, R. [Extensive Games]: Reexamination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games. In: International Journal of Game Theory, vol. 4 (1975), Nr. 1, S. 25-55.
- SELTEN, R. [Spieltheoretische Behandlung]: Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfrageträgheit, Teil I und II. In: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Bd. 121 (1965), H. 2 und 4, S. 301-324 und S. 667-689.
- SEUSTER, H. [Beispiele des organisatorisch-technischen Fortschritts]: Möglichkeiten und Beispiele des organisatorisch-technischen Fortschritts in der Landwirtschaft. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 66, H. 4, Münster 1988 (Landwirtschaftsverlag), S. 513-542.
- SIMON, H. [Preisbündelung]: Preisbündelung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 62 (1992), H. 11, S. 1213–1234.
- SKORUPINSKI, B.; OTT, K. [Technikfolgenabschätzung und Ethik]: Technikfolgenabschätzung und Ethik – Eine Verhältnisbestimmung zwischen Theorie und Praxis, Zürich 2000 (Hochschulverlag).
- SÖLLNER, F. [Geschichte des ökonomischen Denkens]: Geschichte des ökonomischen Denkens, 2. Aufl., Berlin u.a. 2001 (Springer).
- SOLOW, R. M. [Economic Growth]: A Contribution to the Theory of Economic Growth. In: Quarterly Journal of Economics, vol. 70 (1956), S. 65–94.
- SOLOW, R. M. [Investment]: Investment and Technical Change. In: Mathematical Methods in the Social Sciences. Hrsg.: ARROW, K. J.; KARLIN, S.; SUPPES, P., Stanford, Kalif. 1960 (Stanford University Press), S. 89-104.
- SOLOW, R. M. [Learning]: Learning from “Learning by doing” Lessons for economic growth, Stanford, Kalif. 1960 (Stanford University Press).
- SOLOW, R. M. [New Directions]: New Directions in Growth Theory. In: Wachstumstheorie und Wachstumspolitik - Ein neuer Anlauf. Hrsg.: GAHLEN U.A., Tübingen 1991 (Mohr), S. 3–16.
- SOLOW, R. M. [Technical change]: Technical change and the Aggregate Production Function. In: The review of economics and statistics, vol. 39 (1957), S. 312-320.
- SOWELL, T. [Veblen]: The ‘Evolutionary’ Economics of Thorstein Veblen [Erstveröffentlichung Oxford Economic Papers, Juli 1967, S. 177-198]. In: Thorstein

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Veblen Critical Assessments, vol. I. Hrsg.: CUNNINGHAM WOOD, J., London/ New York 1993 (Routledge), S. 127-150.
- STATISTISCHES BUNDESAMT [Viehbestand und tierisches Erzeugung]: Fachserie 3: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Reihe 4: Viehbestand und tierische Erzeugung, Wiesbaden versch. Jahrgänge (Selbstverlag).
- STAUDT, E. [Innovationsbarrieren]: Innovationsdynamik und Innovationsbarrieren. In: Das Management von Innovationen. Hrsg.: STAUDT, E., Frankfurt a. M. 1986 (Frankfurter Zeitung Blick durch die Wirtschaft), S. 601-610.
- STAUDT, E. [Management]: Das Management von Nichtroutineprozessen. In: Das Management von Innovationen. Hrsg.: STAUDT, E., Frankfurt a. M. 1986 (Frankfurter Zeitung Blick durch die Wirtschaft), S. 209-219.
- STEFFEN, G.; BORN, D. [Betriebs- und Unternehmensführung]: Betriebs- und Unternehmensführung in der Landwirtschaft, Stuttgart 1987 (Eugen Ulmer).
- STEFFEN, G.; BORN, D. [Unternehmensführung]: Betriebs- und Unternehmensführung in der Landwirtschaft, Stuttgart 1987 (Eugen Ulmer).
- STEGE, U. [Innovation]: Die Einheit von technischer und sozialer Innovation. In: Das Management von Innovationen. Hrsg.: STAUDT, E., Frankfurt a. M. 1986 (Frankfurter Allgemeine Zeitung).
- STEIL, B.; VICTOR, G. D.; NELSON, R. R. [Introduction]: Introduction and Overview. In: Technological innovation and economic performance. Hrsg.: STEIL, B.; VICTOR, G. D.; NELSON, R. R., Princeton/ Oxford 2002 (Princeton University Press), S. 3-22.
- STEINMÜLLER, K. [Methoden]: Methoden der TA – ein Überblick. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 2, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 665-667.
- STEINMÜLLER, K.; TACKE, K.; TSCHIEDEL, R. [Technikfolgenabschätzung]: Innovationsorientierte Technikfolgenabschätzung. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 1, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 129-146.
- STIER, W. [Empirische Forschungsmethoden]: Empirische Forschungsmethoden, Berlin/ Heidelberg 1999 (Springer).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- STOCKINGER, C.; WEIß, A. [Stand der Technik]: Stand der Technik, Stallsysteme, Wirtschaftlichkeit, erste Erfahrungen. In: Automatisches Melken (AMS). Hrsg.: SCHÖN, H.; PIRKELMANN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 248, Darmstadt 1997 (Selbstverlag), S. 60–67.
- STÖTZEL, M.; BARON, W. [BMBF]: TA-Aktivitäten des Bundesministeriums für Bildung, Forschung und Technologie (BMBF) – Stand und Perspektiven. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 2, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 509-513.
- STRECKER, H.; WIEGERT, R. [Wirtschaftsstatistische Daten]: Wirtschaftsstatistische Daten und ökonomische Realität. In: Angewandte Statistik und Ökonometrie. Hrsg.: STRECKER, H.; WIEGERT, R., H. 36, Göttingen 1994 (Vadenhoeck & Ruprecht), S. 114-117.
- STREET, M. J. U.A. [Milking]: Milking. Patent EP 0 452 381.
- STREIT, M. [Wirtschaftspolitik]: Theorie der Wirtschaftspolitik, Düsseldorf 1991 (Werner).
- STUDINKA, C. [Integratives Management]: Integratives Management der Produktentwicklung: Durch Anwendung des Systemansatzes zum integrativen Management der zeitorientierten Produktentwicklung, Bamberg 1998 (Difo-Druck).
- SUNDERMANN, K. [Constructive Technology Assessment]: Constructive Technology Assessment. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 1, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 119-128.
- SUNDING, D.; ZILBERMAN, D. [Agricultural Innovation]: The Agricultural innovation process: Research and technology adoption in a changing sector. In: Handbook of agricultural economics. Hrsg.: GARDNER, B., RAUSSER, G., vol. 1, Amsterdam 2001 (Elsevier), S. 207-261.
- TAB [OTA]: Das OTA muss schließen. TAB-Brief Nr. 10. Hrsg.: BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG (TAB), Berlin 1995 (Selbstverlag).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- THE WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT [Our common future]: Our common future (Brundtland report), Oxford 1987 (Oxford University Press).
- THELER, C. [Innovationsmanagement]: Analyse des Adoptionsprozesses von Innovationen in der Schweizer Landwirtschaft – Folgerungen für das Innovationsmanagement, Diss.-ETH NR. 14060, Zürich 2001 (Selbstverlag).
- THIRTLE, C. G.; SCHIMMELPFENNIG, D. E.; TOWNSEND, R. F. [Induced Innovation]: Induced Innovation in the United States Agriculture, 1880-1990: Time Series Tests and an Error Correction Model. In: American Journal of Agricultural Economics, vol. 84 (2002), Nr. 3, S. 598-614.
- THORBURN, D. [Forecasting]: Forecasting the agricultural structure using empirical transition matrices. In: European Review of Agricultural Economics, vol. 7 (1980), Nr. 4, S. 413-432.
- TOLLE, A. [Infektionsrisiko der bovinen Milchdrüse]: Konventionelle Melkanlagen und Infektionsrisiko der bovinen Milchdrüse. In: Biologisch-technische Fortschritte in der Milchproduktion und Proteingewinnung. Hrsg.: BMELF, Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 190, Hamburg/ Berlin 1975 (Paul Parey), S. 15-50.
- TOLLE, A.; HAMANN, J. [PME-System]: Der pulsierungsfreie Milchentzug mit Mantel-luftstropfpolster im Einraumsaugbecher (PME-System). In: Biologisch-technische Fortschritte in der Milchproduktion und Proteingewinnung. Hrsg.: BMELF, Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 190, Hamburg/ Berlin 1975 (Paul Parey), S. 72-92.
- TOLLE, A.; HEESCHEN, W. [Dauerkatheter]: Der aseptische Milchentzug über implantierte Dauerkatheter als Modell einer pulsierungsfreien Melktechnik und als Grundlage zum Studium der spezifischen und unspezifischen Infektionsabwehr. In: Biologisch-technische Fortschritte in der Milchproduktion und Proteingewinnung. Hrsg.: BMELF, Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 190, Hamburg/ Berlin 1975 (Paul Parey), S. 60-72.
- TORSIUS, A. [Milking apparatus]: Milking apparatus. Patent EP 213 660.
- TRILK, J. [Erfahrungen]: Ergebnisse und Erfahrungen zum Einsatz automatischer Melksysteme. In: DgFZ-Schriftenreihe, H. 27 (2002), S. 42-61.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- TRILK, J. [Melkroboter]: Wann erobern Melkroboter Amerika? In: Neue Landwirtschaft, Jg. 13 (2002), H. 7, S. 68–69.
- TRILK, J.; ZUBE, P.; MAY, D. [Management]: Management, Kostenaufwand und Wirtschaftlichkeit Automatischer Melksysteme in Auswertung mehrjähriger praktischer Nutzung. In: Züchtungskunde, Jg. 77 (2005), H. 4, S. 256-270.
- TSENKOVA, R. N. U.A. [Near-Infrared Spectroscopy]: Near-Infrared Spectroscopy of individual cow milk as a means for automated monitoring of udder health and milk quality. In: Dairy systems for the 21st Century Proceedings of the Third International Dairy Housing Conference. Hrsg.: BUCKLIN, R., American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph 1994 (Selbstverlag), S. 82–91.
- UHLMANN, L. [Der Innovationsprozess]: Der Innovationsprozess in westeuropäischen Industrieländern, Bd. 2: Der Ablauf industrieller Innovationsprozesse. Hrsg.: IFO-INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG, Berlin 1978 (Duncker & Humblot).
- UMSTÄTTER, C.; KAUFMANN, O. [Prozesskontrolle]: Die Bedeutung einer auf das Euterviertel bezogenen Prozesskontrolle bei der Milchgewinnung. In: Automatische Melksysteme. Hrsg.: SCHÖN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 395, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 230–235.
- UNECE/ IFR [World Robotics 2004]: Robotics 2004 Survey. Pressemitteilung, Frankfurt a. M., 20. Oktober 2004.
- UNECE/ IFR [World Robotics 2007]: World Robotics 2007. Hrsg.: INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS, Frankfurt a. M 2007 (Selbstverlag).
- VAN BOXSEL, J. [Konstruktive Technikfolgenabschätzung]: Konstruktive Technikfolgenabschätzung in den Niederlanden: Brückenschlag zwischen Forschungs- und Entwicklungspolitik und Technikfolgenabschätzung. In: Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: KORNWACHS, K., Stuttgart 1991 (Poeschel), S. 137-154.
- VAN DEN DAELE, W U.A. [Grüne Gentechnik]: Grüne Gentechnik im Widerstreit: Modell einer partizipativen Technikfolgenabschätzung zum Einsatz transgener herbizidresistenter Pflanzen, Weinheim 1996 (VCH Verlagsgesellschaft).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- VAN DEN ENDE, J. U.A. [Toolkit]: Traditional and Modern technology Assessment: Toward a Toolkit. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 58 (1998), S. 5-21.
- VAN DEN WEGHE, H.; SEUFERT, H. [Vorwort]: Vorwort. In: Automatisches Melken (AMS). Hrsg.: SCHÖN, H.; PIRKELMANN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 248, Darmstadt 1997 (Selbstverlag), S. 3.
- VAN DER LELY, C. [Gerät zum Melken]: Gerät zum Melken von Tieren, z. B. Kühen. Patent EP 0 332 229.
- VAN DOOREN, H. J.; SPRÖNDLY, E.; WIKTORSSON, H. [Automatic milking]: Automatic milking and grazing: Applied grazing strategies. H. D25, EU-Projekt „Implications of the introduction of automatic milking on dairy farms“, Lelystad 2002 (Selbstverlag).
- VAN EIJNDHOVEN, J. [Technology Assessment]: Technology Assessment: Product or Process? In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 54 (1997), S. 269-286.
- VDI [Richtlinie 1000]: Richtlinienarbeit – Grundsätze und Anleitungen Richtlinie VDI 1000. Hrsg.: VDI VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, Berlin 1999 (Beuth Verlag).
- VDI [Richtlinie 3780]: Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen: Erläuterungen und Hinweise zur Richtlinie VDI 3780. Hrsg.: VDI-AUSSCHUSS „GRUNDLAGEN DER TECHNIKBEWERTUNG“, Düsseldorf 1991 (VDI-Verlag), zitiert nach der zweiten Auflage, Berlin 2000 (Beuth Verlag).
- VDI [2860]: VDI 2860: Montage- und Handhabungstechnik – Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen - Begriffe, Definitionen, Symbole, Düsseldorf 1990 (VDI-Verlag).
- VEAUTHIER, G. [Der Branchen-Primus]: Der Branchen-Primus in schwerem Fahrwasser. In: top agrar, Jg. 30 (2001), H. 3, S. R6-R12.
- VEAUTHIER, G. [Überblick]: Sieben Fabrikate im Überblick. In: Melkroboter. Hrsg.: top agrar, Münster 1999 (Landwirtschaftsverlag), S. 10–17.
- VEBLEN, T. [Leisure Class]: The Leisure Class, [Reprint der Originalausgabe, London 1899 (Macmillan)], New York 1965 (A. M. Kelly).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- VERBRUGGE, J. K.; AURIK, E. A. [Movable accomodation]: Movable accomodation or container in which is arranged apparatus for automatic milking of an animal. Patent US 889 074.
- VOLKSWIRTSCHAFTLICHER VERLAG [Norddeutscher Molkerei und Käserei Adresskalender 1999]: Norddeutscher Molkerei und Käserei Adresskalender 1999, München 1999 (Volkswirtschaftlicher Verlag).
- VOLKSWIRTSCHAFTLICHER VERLAG [Süddeutscher Molkerei und Käserei Adresskalender 1999]: Süddeutscher Molkerei und Käserei Adresskalender 1999, München 1999 (Volkswirtschaftlicher Verlag).
- VOßKAMP, R. [Innovationen]: Innovationen, Heterogenität und Struktur in Mikro-Makro-Modellen, Berlin 1996 (Duncker & Humblot).
- W. W. Cochrane [Farm Prices]: Farm Prices Myth and Reality, Minneapolis 1958 (University of Minnesota Press).
- WADE, K. M. U.A. [Economic Efficiency]: Economic efficiency of automatic milking systems with specific emphasis on increases in milk production. In: Automatic Milking. Hrsg.: MEIJERING, A.; HOGVEEN, H.; DE KONIG, C., Wageningen 2004 (Wageningen Academic Publishers), S. 62-66
- WALTER, H. [Technischer Fortschritt]: Technischer Fortschritt I: In der Volkswirtschaft. In: Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft. Hrsg.: ALBERS, W. U.A., Bd. 7, Stuttgart u.a. 1977 (Fischer u.a.), S. 569–583.
- WATTS, R.; PORTER, A. [Innovation Forecasting]: Innovation Forecasting. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 56 (1997), S. 25-47.
- WAUTERS, E.; MATHIJS, E. [Economic Implications]: The economic implications of automatic milking: A simulation analysis for Belgium, Denmark and the Netherlands. In: Automatic Milking. Hrsg.: MEIJERING, A.; HOGVEEN, H.; DE KONIG, C., Wageningen 2004 (Wageningen Academic Publishers), S. 68-74.
- WEBER, J. U.A. [Technology Assessment]: Technology Assessment: Eine Managementperspektive; Bestandsaufnahme – Analyse – Handlungsempfehlungen, Wiesbaden 1999 (Gabler).
- WEBER, W. [Industrieroboter]: Methoden der Steuerung und Regelung, München/Wien 2002 (Hanser).

Literatur- und Quellenverzeichnis

- WECKWERTH, J. [Innovationstheorie]: Eine nachfrageorientierte Innovationstheorie, Berlin 1999 (Duncker & Humblot).
- WEIBULL, J. [Evolutionary game theory]: Evolutionary game theory; Cambridge (Mass.) 1996 (MIT Press).
- WEINGART, P. [soziologische Analyse]: Strukturen technologischen Wandels. Zu einer soziologischen Analyse der Technik. In: Techniksoziologie. Hrsg.: JOKISCH, R., Frankfurt a. M. 1982 (Suhrkamp), S. 112-141.
- WEINSCHENCK, G; HENRICHSMEYER, W. [Ermittlung des räumlichen Gleichgewichts]: Ermittlung des räumlichen Gleichgewichts der landwirtschaftlichen Produktion. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 44, H. 2, Münster 1966 (Landwirtschaftsverlag), S. 201-242.
- WEISS, M. D. [Precision Farming]: Precision Farming and Spatial Economic Analysis: Research Challenges and Opportunities. In: American Journal of Agriculture Economics, vol. 78 (1996), Nr. 5, S. 1275–1280.
- WENDL, G.; KLINDWORTH, M.; KLINDWORTH, K. [Elektronische Kennzeichnungssysteme]: Elektronische Kennzeichnungssysteme in der Rinderhaltung – Einsatz von injizierbaren Transpondern und Pansenboli. In: Elektronische Tieridentifizierung. Hrsg.: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT, Darmstadt 1998 (Selbstverlag), S. 45-57.
- WICHER, H. [Innovationsverhalten]: Unternehmensgröße und Innovationsverhalten. In: Das Wirtschaftsstudium (wisu), Jg. 15 (1986), H. 5, S. 237-242.
- WILKENING, E. A. [Communicating agents]: Rules of Communicating Agents in Technological Change in Agriculture. In: Social Forces, vol. 34 (1956), Nr. 4, S. 361-367.
- WILKENING, E. A. [Farm practices]: Adoption of improved farm practices in three coastal plain counties. Hrsg.: NORTH CAROLINA AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION, Technical Bulletin Nr. 98, Raleigh 1952 (Selbstverlag).
- WILLER, H. [Technischer Fortschritt]: Technischer Fortschritt und Landwirtschaft: Formen und Messung des technischen Fortschritts; Hamburg/ Berlin 1967 (Paul Parey).
- WINDHORST, H.-W. [Agrartechnologische Innovationen]: Agrartechnologische Innovationen und Strukturwandel - Welche Entwicklungen zeichnen sich ab? In:

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Innovationsprozesse in der Landwirtschaft. Hrsg.: HARVERSATH, J.-B.; ROTHER, K., Passau 1989 (Passavia Universitätsverlag).
- WOLF, S. A.; BUTTEL, F. H. [Political Economy]: The Political Economy of Precision Farming. In: American Journal of Agriculture Economics, vol. 78 (1996), Nr. 5, S. 1269–1274.
- WOLTERS, G. U.A. [Cooling and storing requirements]: Cooling and storage requirements for automatic milking. In: Robotic milking. Hrsg.: HOGVEEN, H.; MEIJERING, A., Wageningen 2001 (Wageningen Pers), S. 47–55.
- WOOD, F. [Congressional Office]: The Status of Technology Assessment. A View from the Congressional Office of Technology Assessment. In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 22 (1982), S. 211-219.
- WORSTORFF, H.; TRÖGER, F.; BARTH, K. [Melktechnische Anforderungen]: Melktechnische Anforderungen beim automatischen Melken. In: Automatische Melksysteme. Hrsg.: SCHÖN, H., Schriftenreihe des Kuratoriums für Technik und Bau in der Landwirtschaft e.V., Bd. 395, Darmstadt 2000 (Selbstverlag), S. 53–58.
- WÜBKER, G. [Sonderangebotspolitik]: Sonderangebotspolitik und Preisbündelung. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung. Hrsg.: SCHMALENBACH-GESELLSCHAFT FÜR BETRIEBSWIRTSCHAFT E.V., Jg. 51 (1999), H. 7/ 8, S. 693–713.
- ZAHN, E.; BRAUN, F. [Techniktrends]: Identifikation und Bewertung zukünftiger Techniktrends – Erkenntnisstand im Rahmen der strategischen Unternehmensführung. In: Technologiefrühaufklärung - Identifikation und Bewertung von Ansätzen zukünftiger Technologien. Hrsg.: VDI-TECHNOLOGIEZENTRUM, Stuttgart 1992 (Schäffer-Poeschel), S. 3-15.
- ZEDDIES, J.; DOLUSCHITZ, R. [Potentielle Auswirkungen von BST]: Potentielle einzelbetriebliche und sektorale Auswirkungen des Einsatzes von Bovinem Somatotropin (bST) in der Milcherzeugung der Bundesrepublik Deutschland. In: Berichte über Landwirtschaft. Hrsg.: BMELF, Bd. 66, H. 2, Berlin 1988 (Paul Parey), S. 295-263.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- ZEPEDA, L. [Technical change]: Technical change and the structure of production: A non-stationary Markov analysis. In: European Review of Agricultural Economics, vol. 22 (1995), Nr. 1, S. 41-60.
- ZMP [Marktbilanz-Milch 2000]: ZMP - Marktbilanz Milch 2000, Deutschland Europäische Union Weltmarkt, Bonn 2000 (Selbstverlag).
- ZMP [Milchpreisvergleich 1999]: ZMP – Milchpreisvergleich – Jahresauswertung 1999, Bonn 2000 (Selbstverlag).
- ZMP [Milchviehhaltung]: Strukturwandel in der Milchviehhaltung verlangsamt. In: ZMP Milchwirtschaftliche Vorschau Februar 2003, Jg. 18, Bonn 2003 (Selbstverlag), S. III–IV.
- ZWECK, A. [Technologiefrüherkennung]: In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Hrsg.: BRÖCHLER, S.; SIMONIS, G.; SUNDERMANN, K., Bd. 1, Berlin 1999 (Edition Sigma), S. 155-163.
- ZWECK, A. [Vermittlungsinstrument]: Die Entwicklung der Technikfolgenabschätzung zum gesellschaftlichen Vermittlungsinstrument, Bonn 1993 (Verlag für Sozialwissenschaften).